

А. Н. МАРЧЕНКО

ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Основана в 1947 году

Выпуск 1017

А. Н. МАРЧЕНКО

ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ



МОСКВА «ЭНЕРГИЯ» 1980

ОГЛАВЛЕНИЕ

ББК 32.844
М 30
УДК 621.316.82

Марченко А. Н.

М 30 Переменные резисторы. — М.: Энергия, 1980. — 72 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1017)

35 к.

Рассмотрены устройство и основные параметры переменных резисторов, приведены их технические и эксплуатационные характеристики. Указаны особенности эксплуатации и даны рекомендации по применению различных типов переменных резисторов.

Для радиолюбителей. Может быть использована также специалистами, работающими в области конструирования радиоаппаратуры.

$М \frac{30404\text{-}291}{051(01)\text{-}80}$ 235-80. 2402020000

АЛЕКСАНДР НИКИТИЧ МАРЧЕНКО

Переменные резисторы

Редактор Е. Л. Геренрот
Редактор издательства И. Н. Суслова
Обложка художника В. И. Карпова
Технический редактор Л. В. Изгаршева
Корректор Г. А. Полонская
ИБ № 2028

Сдано в набор 28.01.80 Подписано в печать 08.04.80 Т-07133 Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2 Гарн. шрифта литературная Печать высокая Усл. печ. л. 3,78 Уч.-изд. л. 4,57 Тираж 50 000 экз. Заказ № 254 Цена 35 к.

Издательство «Энергия», 113114, Москва, М-114, Шлюзовая набер., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д., 7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Термин «резистор» введен в 1962 г. для обозначения большой группы изделий, основным физическим свойством которых является наличие заданного значения электрического сопротивления. Резисторы, электрическое сопротивление которых можно регулировать путем механического воздействия на регулировочный орган (регулировочная ось, ручка управления), называют переменными. Переменные резисторы предназначены для регулирования напряжения и тока в электрических цепях или подстройки их сопротивления к заданному значению. Посредством соответствующих регулировок переменные резисторы позволяют удерживать в поле допуска выходные параметры аппаратуры, изменяющиеся в процессе старения элементов или воздействия дестабилизирующих факторов, т. е. не допускать постепенных отказов РЭА, а также производить перестройку ее параметров в процессе эксплуатации. Целый ряд важных технических характеристик РЭА непосредственно связан с техническим уровнем использованных в этой аппаратуре переменных резисторов.

Переменные резисторы относятся к числу электронных компонентов, широко используемых в современной РЭА и в значительной степени определяющих ее параметры. В современном телевизоре или стереофонической радиоле используется от 20 до 100 переменных резисторов, без которых трудно представить себе аппаратуру такого вида.

Совершенствование РЭА, улучшение ее качества привело к значительному повышению требований к переменным резисторам. В связи с этим в последние годы в нашей стране созданы новые типы переменных резисторов. Так, например, создана серия переменных резисторов с прямолинейным перемещением подвижного контакта, разработаны переменные резисторы для стереофонической и квадрофонической аппаратуры, созданы керметные переменные резисторы. Все эти разработки позволили расширить номенклатуру и значительно повысить технический уровень отечественных переменных резисторов.

В предлагаемой книге изложено устройство переменных резисторов, даны определения их основных параметров, приведены технические характеристики переменных резисторов отечественного производства и даны рекомендации по их применению.

Отзывы и пожелания по книге следует направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Автор

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ

Переменные резисторы классифицируют по функциональному назначению и конструктивному исполнению как резистора в целом, так и важнейших его узлов, а также по способу монтажа в аппаратуре.

В зависимости от назначения переменные резисторы подразделяются на резисторы регулировочные и подстроечные. Регулировочные резисторы используются для многократной регулировки режимов работы цепей электронной аппаратуры и имеют ресурс работы более 5000 циклов регулирования сопротивления. Подстроечные резисторы предназначены для разовой или периодической подстройки сопротивления цепей электронной аппаратуры и имеют ресурс работы не менее 500 циклов. Регулировочная ось подвижной системы подстроечного резистора обычно выводится под шлиц, в некоторых случаях предусматривается стопорение оси.

Среди переменных резисторов особое место занимают прецизионные потенциометры, используемые как точные делители напряжения, передающие и приемные элементы дистанционных систем передачи, звенья обратной связи следящих систем и для других целей.

Переменный резистор обычно состоит из следующих основных узлов: резистивного элемента с выводами, служащими для включения резистора во внешнюю электрическую цепь; подвижной системы с подвижным контактом, соединенным с соответствующим выводом резистора, и корпуса. Основным элементом переменного резистора является резистивный элемент, определяющий электрическое сопротивление и ряд других важнейших параметров резисторов. Регулировка сопротивления переменного резистора осуществляется плавным перемещением подвижного контакта по поверхности резистивного элемента. Для перемещения подвижного контакта служит подвижная система резистора. Важнейшие элементы конструкции резистора (исключение составляют резисторы в бескорпусном исполнении) размещены внутри корпуса для защиты от воздействия окружающей среды.

Условные графические обозначения переменных резисторов показаны на рис. 1. В настоящее время принято следующее обозначение выводов резистора (рис. 2): *1* — вывод от контактной площадки на конце резистивного элемента, у которого останавливается подвижной контакт в крайнем положении подвижной системы при вращении регулировочной оси против часовой стрелки или перемещении подвижной системы влево до упора, если смотреть со стороны ручки управления; *2* — вывод подвижного контакта; *3* — вывод от контактной площадки на конце резистивного элемента, у которого останавливается подвижной контакт в крайнем положении подвижной системы при вращении регулировочной оси по часовой стрелке

или перемещении подвижной системы вправо до упора, если смотреть со стороны ручки управлении.

При наличии дополнительных отводов от резистивного элемента их обозначают цифрами 4, 5, 6 ...

По конструктивному исполнению переменные резисторы подразделяются на следующие типы:

одноэлементные и многоэлементные (сдвоенные, строенные и т. д.) в зависимости от числа содержащихся в конструкции изделия резистивных элементов, причем в зависимости от конструктивного

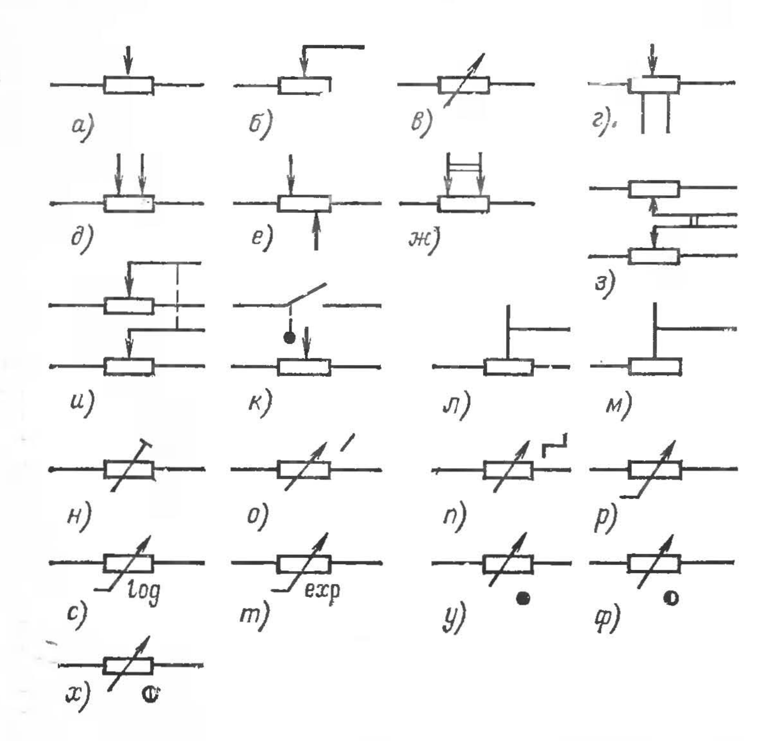


Рис. 1. Условные графические обозначения переменных резисторов.

а — общее обозначение; *б, в* — реостатное включение; *г* — с дополнительными отводами; *д, е* — с двумя механически не связанными подвижными контактами; *ж* — с двумя механическими связанными подвижными контактами; *з, и* — сдвоенный переменный резистор; *к* — с выключателем с замыкающим контактом (точка указывает положение подвижного контакта резистора, в котором происходит срабатывание замыкающего контакта); *л* — подстроечный резистор; *м, н* — подстроечный резистор в реостатном включении; *о* — с плавным регулированием; *п* — со ступенчатым регулированием; *р* — с нелинейным регулированием; *с* — с логарифмической характеристикой регулирования; *т* — с обратно логарифмической характеристикой; *у* — регулирование сопротивления которого осуществляется выведенной наружу ручкой; *ф* — регулирование сопротивления которого осуществляется при помощи инструмента, а регулировочная ось выведена наружу; *х* — переменный резистор, регулирование сопротивления которого осуществляется при помощи инструмента, а регулировочная ось не выведена наружу.

исполнения регулирование сопротивления резистивных элементов (в многоэлементном резисторе) может быть синхронным или независимым;

с выключателем и без выключателя, причем выключатель может быть однополюсным и двухполюсным; срабатывание выключателя происходит при вращении регулировочной оси вблизи крайнего начального положения подвижной системы;

с круговым и с прямолинейным перемещением подвижного контакта в зависимости от типа подвижной системы резистора;

однооборотные и многооборотные в зависимости от того, какое количество оборотов регулировочной оси необходимо совершить, чтобы перевести подвижную систему резистора из одного крайнего положения в другое;

с фиксацией и без фиксации положения подвижной системы в конце процесса регулировки сопротивления.

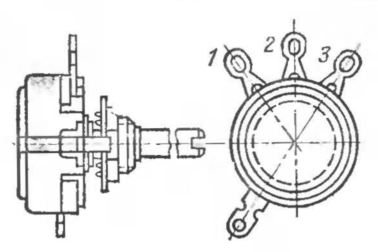


Рис. 2. Условное обозначение выводов резистора.

По конструктивному исполнению резистивного элемента переменные резисторы подразделяются на проволочные, у которых резистивный элемент выполнен из проволоки на основе сплавов с высоким удельным сопротивлением, и непроволочные, у которых резистивный элемент выполнен из других резистивных материалов. В свою очередь непроволочные переменные резисторы подразделяются на пленочные (тонкослойные) и объемные. Резистивный элемент пленочных резисторов представляет собой пленку материала с заданным удельным сопротивлением толщиной не более 50 мкм, нанесенную на поверхность изоляционного основания. Резистивный элемент объемных резисторов выполняется в виде объемного тела с минимальным размером более 0,1 мм из материала с заданным удельным сопротивлением.

Для выполнения резистивных элементов используют композиционные материалы, представляющие собой мелкодисперсную смесь нескольких компонентов, один или несколько из которых являются проводящими (металлы и сплавы с высоким удельным сопротивлением, полупроводниковые материалы на основе окислов металлов).

В соответствии с такой классификацией резистивных элементов начиная с 1968 г. строится обозначение типов переменных резисторов[1]. Обозначения переменных резисторов состоят из двух букв — СП

[1] До 1968 г. четкой системы обозначений резисторов не существовало. В основу обозначений (названий) резисторов брались различные признаки: конструктивные разновидности, технологические особенности, эксплуатационные характеристики, область применения и т. п. Например: ППБ — проволочные переменные бескаркасные, СПО — сопротивления переменные объемные, СП-I—СП-IV — переменные композиционные пленочные. В настоящее время обозначения резисторов регламентированы ГОСТ 13453-68.

(сопротивление переменное) и двух цифр, первая из которых указывает на вид резистивного элемента, а вторая — номер конструктивной разработки изделия.

Переменные резисторы в зависимости от вида резистивного элемента классифицируются следующим образом:

Наименование резистора	Вид резистивного элемента
СП2	Металлопленочный или полупроводниковый тонкослойный металлоокисный
СП3	Пленочный композиционный
СП4	Объемный композиционный
СП5	Проволочный

Так, например, обозначение СП2-1 расшифровывается следующим образом: резистор переменный металлоокисный (тонкослойный), конструктивное исполнение — первое.

В зависимости от климатических факторов, воздействующих на резисторы при эксплуатации, переменные резисторы могут выполняться в нормальном (обычном) и тропическом вариантах. Их различие состоит в степени защиты от воздействия влаги и биологической среды. Наилучшая защита от действия влаги достигается вакуумплотной герметизацией корпуса.

Учитывая конкретные условия эксплуатации аппаратуры, предназначенной для работы в условиях сухого и влажного тропического климата, резисторы в тропическом исполнении в свою очередь разделяются на категории: А — для аппаратуры, предназначенной для работы на открытом воздухе; Н — для аппаратуры, предназначенной для работы в открытых производственных помещениях, под навесом, на верандах, в крытых транспортных средствах, палатках и не подвергающейся воздействию солнечной радиации и дождя.

Резисторы тропического исполнения маркируются буквой Т. Переменные резисторы конструктивно выполняются для печатного и навесного монтажа.

Резисторы для навесного монтажа имеют выводы в виде лепестков. Выводы резисторов для печатного монтажа делаются жесткими и удобными для распайки на печатную плату.

В зависимости от способа монтажа резистора в аппаратуре конструкция резистора может предусматривать фиксацию корпуса.

2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ

Для описания свойств переменных резисторов принята определенная система параметров и характеристик, которая дает полную информацию об электрических, конструктивных, эксплуатационных характеристиках, а также о надежности изделия.

Номинальное сопротивление ($R_н$) переменного резистора — параметр, учитываемый в первую очередь при выборе резистора для применения в конкретной схеме. Номинальное сопротивление переменного резистора — это обозначенное на корпусе или указанное в нормативной документации электрическое сопротивление между

крайними выводами *1* и *3* резистивного элемента. Оно является исходным для отсчета отклонения фактического значения сопротивления от номинального.

Отечественной промышленностью выпускаются резисторы с стандартными номинальными сопротивлениями. Номинальные сопротивления переменных резисторов представляют собой округленные по особым правилам значения членов геометрической прогрессии со знаменателем $M = \sqrt[6]{10} = 1{,}47$, где 6 — номер ряда, условно обозначаемый Е6. Номер ряда соответствует количеству номинальных значений в каждом десятичном интервале. Ряд Е6 содержит шесть номинальных значений в каждом порядке величины, т. е. единиц, десятков, сотен, тысяч ом и т. д. Ряд Е6 номинальных значений сопротивлений переменных резисторов содержит следующие значения в каждом десятичном интервале: 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8. Допустимое отклонение от номинального значения сопротивления для ряда Е6 составляет ±20%.

Номинальные значения из ряда 1,0; 2,2; 4,7 для переменных резисторов являются предпочтительными.

Полное сопротивление переменного резистора $R_п$ — это сопротивление резистивного элемента, измеренное между выводами *1* и *3* при установке подвижной системы в крайнее положение. Полное сопротивление резистора обычно несколько отличается от номинального сопротивления, на которое настраивается производство резистора, вследствие отклонений в технологическом процессе производства изделий. Разница между номинальным и полным сопротивлением, выраженная в процентах по отношению к номинальному значению, называется отклонением от номинального сопротивления. Это отклонение не должно превышать некоторого допускаемого значения.

Допускаемое отклонение сопротивления резистора ΔR — отклонение полного сопротивления от номинального, находящееся в пределах, установленных нормативной документацией. Значение допускаемого отклонения указывается в процентах.

Ряду Е6 соответствует наибольшее допустимое отклонение от номинальных сопротивлений (±20%). Кроме того, переменные резисторы могут выполняться с допускаемым отклонением сопротивления ±5, ±10, а в отдельных случаях ±30%.

Измерения полного сопротивления производятся в нормальных климатических условиях: при температуре 25±10°С, относительной влажности воздуха 65±15% и атмосферном давлении $10^5 \pm 4 \cdot 10^3$ Па (750±30 мм рт. ст.). В большинстве случаев считается нормальным, когда погрешность измерения сопротивления резисторов не превышает 30% допускаемого отклонения.

Маркировка номинального сопротивления на резисторах буквенно-цифровая. Принято обозначать: омы — значком Ω или Ом; килоомы — кΩ, кОм; мегаомы — М, МОм.

Для маркировки миниатюрных резисторов введены сокращенные кодированные обозначения. Кодированное обозначение состоит обычно из цифры, указывающей номинальное сопротивление резистора, буквы, обозначающей единицу измерения сопротивления (Е — омы, К — килоомы, М — мегаомы) и одновременно указывающей положение запятой в десятичной дроби, и буквы, обозначающей допускаемое отклонение от номинального. Примеры кодированного обозначения номинального сопротивления приведены в табл. 1.

Таблица 1

Единицы измерения	Обозначения единиц измерения	Пределы номинальных сопротивлений	Сокращенные обозначения	Полные обозначения
Омы	Е	До 100	47Е 68Е	47 Ом 68 Ом
Килоомы	К	От 0,1 до 100	К10 К47 1К0 4К7 47К	100 Ом 470 Ом 1 кОм 4,7 кОм 47 кОм
Мегаомы	М	От 0,1 до 100	М10 М47 1М0 4М7 10М	100 кОм 470 кОм 1 МОм 4,7 МОм 10 МОм

Для допускаемых отклонений от номинальных сопротивлений введены следующие кодированные обозначения:

Допускаемое отклонение сопротивления, %	±5	±10	±20	±30
Кодированные обозначения	И	С	В	Ф

Например, кодированное обозначение резистора с сопротивлением 470 Ом и допускаемым отклонением ±10% записывается так: К47С.

Для определенных областей применения переменные резисторы выполняются с дополнительными отводами, представляющими собой выводы участков резистивного элемента, заключенных между крайними выводами *1* и *3*. Сопротивлением дополнительного отвода $R_{доп.отв}$ называют сопротивление между выводом *1* и соответствующим дополнительным отводом при установке подвижной системы в крайнее положение.

Рассмотренные параметры ($R_н$, ΔR, $R_{доп.отв}$) дают полное представление о значениях активного электрического сопротивления резистивного элемента переменного резистора. Кроме того, в систему параметров переменного резистора входят величины сопротивления, характеризующие переменный резистор как регулирующий элемент. Регулирование сопротивления переменного резистора осуществляется за счет перемещения подвижного контакта по поверхности резистивного элемента. Электрическое сопротивление, между выводом *1* резистивного элемента и выводом *2* подвижного контакта называется *установленным сопротивлением* переменного резистора. Значение установленного сопротивления изменяется при перемещении под-

вижной системы резистора. Для переменных резисторов нормируются следующие значения установленного сопротивления в определенных положениях подвижной системы.

Минимальное сопротивление $R_{мин}$ переменного резистора — это установленное сопротивление, измеренное при доведении подвижной системы до соответствующего упора при вращении оси против часовой стрелки. Для резисторов, не имеющих упоров, минимальное сопротивление соответствует наименьшему значению установленного сопротивления.

Существует также понятие минимального сопротивления дополнительного отвода $R_{мин.доп.отв}$ — это наименьшее сопротивление, измеренное между выводом *2* подвижного контакта и выводом дополнительного отвода.

Минимальное сопротивление $R_{мин}$ или $R_{мин.доп.отв}$ соответствует такому положению подвижной системы резистора, когда подвижной контакт соприкасается с поверхностью соответствующей контактной площадки резистивного элемента. При перемещении подвижной системы резистора в момент, соответствующий переходу подвижного контакта с контактной площадки на токопроводящий слой резистивного элемента, возможно резкое изменение установленного сопротивления, называемое начальным скачком сопротивления.

Начальный скачок сопротивления $R_{н.с}$ — значение сопротивления, начиная с которого имеет место плавное увеличение сопротивления, пропорциональное перемещению подвижного контакта. Обычно начальный скачок сопротивления имеет место, когда подвижной контакт сходит с контактной площадки. Сопротивление при этом увеличивается от минимального $R_{мин}$ до $R_{н.с}$. Значение минимального сопротивления принято выражать в омах, а начальный скачок в долях или процентах номинального сопротивления резистора.

Регулирование сопротивления переменных резисторов происходит при изменении положения подвижной системы. Большинство переменных резисторов общего применения имеет ограниченный угол поворота или ограниченный ход (для движковых резисторов) подвижной системы. При этом различают механический, электрический и рабочий угол поворота или соответственно ход подвижной системы переменного резистора.

Механический угол поворота $\alpha_п$ — полный угол поворота подвижной системы переменного резистора от упора до упора.

Электрический угол поворота $\alpha_э$ — угол поворота подвижной системы, в пределах которого происходит изменение электрического сопротивления переменного резистора.

Рабочий угол поворота $\alpha_р$ — угол поворота подвижной системы, в пределах которого воспроизводится заданная функциональная характеристика переменного резистора.

В реальных конструкциях переменных резисторов обычно выполняется условие $\alpha_п > \alpha_э > \alpha_р$. Аналогично определяется механический $l_п$, электрический $l_э$ и рабочий $l_р$ ход подвижной системы переменных резисторов с прямолинейным перемещением подвижного контакта.

Функциональная характеристика — зависимость установленного электрического сопротивления от положения подвижной системы — является важнейшей характеристикой переменного резистора. Она показывает зависимость сопротивления между подвижным контактом и выводом *1* или *3* резистивного элемента от угла поворота или перемещения регулировочного органа резистора. По характеру функциональной зависимости переменные резисторы делятся на линейные и нелинейные. Основные виды функциональных характеристик переменных резисторов показаны на рис. 3.

Характер нелинейности функциональной характеристики определяется схемными задачами, для решения которых предназначен резистор. Наиболее распространенные нелинейные зависимости — логарифмические и обратнологарифмические. Резисторы с такими функциональными характеристиками используются для регулировок громкости и тембра звука, яркости свечения электронных трубок и т. п.

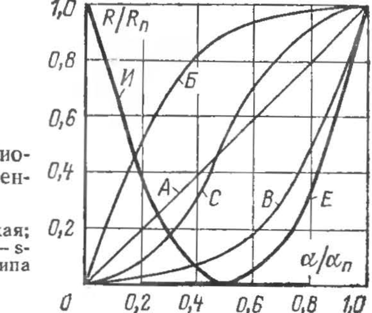


Рис. 3. Основные виды функциональных характеристик переменных резисторов.

А — линейная; *Б* — логарифмическая; *В* — обратнологарифмическая; *С* — s-образная; *И* — характеристика типа И; *Е* — характеристика типа Е.

Вид функциональной характеристики условно обозначается буквами: А — линейная, Б — логарифмическая, В — обратнологарифмическая, С — s-образная.

Кроме того, выпускаются резисторы с специальными функциональными характеристиками типа Е и И. Установленное сопротивление резисторов с функциональной характеристикой типа Е имеет очень малое (в идеальном случае равное нулю) и постоянное значение при повороте подвижной системы по часовой стрелке из начального положения в среднее, а затем при дальнейшем вращении подвижной системы из среднего положения в крайнее нелинейно возрастает до значения полного сопротивления резистора. Установленное сопротивление резистора с функциональной характеристикой типа И, наоборот, при вращении подвижной системы в пределах угла поворота от 0 до $0{,}5\,\alpha_п$ уменьшается от $R_п$ до нуля и в дальнейшем не изменяется при перемещении подвижной системы из положения, соответствующего $0{,}5\ \alpha_п$, в крайнее положение, соответствующее $\alpha_п$. Встречаются также резисторы с синусными, косинусными и другими зависимостями, используемые для специальных целей.

Отклонения от заданной кривой определяются допусками (границами) на функциональную характеристику. Для переменных резисторов с линейной функциональной характеристикой эти границы устанавливаются в пределах 10—30% (рис. 4), а для прецизионных потенциометров — в пределах 0,05—1%.

Изменение установленного сопротивления резисторов при вращении или перемещении подвижной системы должно быть плавным (монотонным), за исключением участков начального скачка и дополнительных отводов. В ряде случаев отклонение от заданной функциональной характеристики может иметь скачкообразный характер, в

результате чего нарушается плавность регулирования. Причинами таких отклонений могут быть неоднородность и дефекты резистивного элемента и подвижного контакта. Проверка функциональной характеристики производится при помощи устройства с осциллографом и образцовым переменным резистором или путем измерения сопротивления, соответствующего заданному углу поворота подвижной системы проверяемого резистора.

Для сдвоенных переменных резисторов с одинаковыми номинальными сопротивлениями и функциональными характеристиками обоих резистивных элементов иногда нормируется значение разбаланса установленных сопротивлений, выражаемое в децибелах и определяемое из соотношения

$$\Delta = 20 \lg \frac{R_1/R_{п1}}{R_1/R_{п2}},$$

где R_1 и R_2 — установленные значения сопротивления первого и второго резистивных элементов при некотором положении регулировочной оси; $R_{п1}$ и $R_{п2}$ — полное сопротивление первого и второго резистивных элементов соответственно.

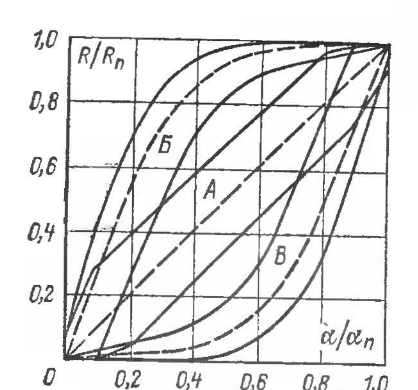


Рис. 4. Зоны допуска на функциональные характеристики переменных резисторов СП3-23.

Для многоэлементных переменных резисторов, имеющих общую подвижную систему, в ряде случаев оговаривается величина разбаланса — отношения установленных сопротивлений в цепи первого и второго резистивных элементов.

Разрешающая способность является важной характеристикой переменных резисторов. Разрешающая способность показывает, при каком наименьшем изменении угла поворота подвижной системы резистора изменение установленного сопротивления может быть различимо. Иначе говоря, она характеризует изменение установленного сопротивления при весьма малом перемещении подвижного контакта.

Количественно разрешающую способность выражают отношением установленного сопротивления или напряжения при повороте подвижной системы к полному сопротивлению или к общему напряжению, подводимому к резистору.

У непроволочных резисторов разрешающая способность теоретически не ограничена и лимитируется дефектами резистивного слоя, подвижного контакта и величиной переходного контактного сопротивления.

Разрешающая способность переменных проволочных резисторов зависит от числа витков резистивного элемента и определяется тем наименьшим перемещением подвижного контакта, при котором происходит различимое изменение значения установленного сопротивления. Часто разрешающую способность выражают в угловых величинах. Угловая разрешающая способность проволочного резистора — это угол поворота оси подвижной системы, соответствующий перемещению подвижного контакта с витка на виток.

Угловая разрешающая способность при равномерном шаге намотки равна:

$$\gamma_у = \frac{\alpha_э}{n},$$

где $\alpha_э$ — электрический угол поворота подвижной системы резистора, равный общему углу намотки; n — число витков.

Чем большее число витков содержит резистивный элемент, тем меньше скачки установленного сопротивления и выше разрешающая способность. Если бы подвижной контакт касался только одного витка обмотки, то наименьшее приращение установленного сопротивления было бы $\delta R = R_п/n$, где $R_п$ — полное сопротивление резистора, а n — общее число витков. Тогда так называемая электрическая разрешающая способность, выраженная в процентах, будет равна:

$$\gamma_э = \frac{\delta R}{R_п} \cdot 100 = \frac{100}{n}.$$

Разрешающая способность переменных резисторов общего применения находится в пределах от 0,1 до 3%, однооборотных потенциометров — от 0,02 до 0,4%, а многооборотных потенциометров — от 0,001 до 0,2%.

Собственные шумы. На выводах любого резистора всегда существует переменное напряжение, характеризующееся непрерывным широким спектром и примерно одинаковой интенсивностью всех составляющих.

В проволочных резисторах появление шумового напряжения обусловлено тепловым движением свободных электронов.

Для практических расчетов напряжения тепловых шумов, возникающих в резисторе при комнатной температуре, можно пользоваться следующим выражением [3]:

$$U_ш \approx \frac{1}{8} \sqrt{R \Delta f},$$

где $U_ш$ — напряжение шумов; мкВ; R — сопротивление резистора, кОм; Δf — полоса частот, кГц, в пределах которой определяется шумовое напряжение.

В непроволочных резисторах, кроме тепловых шумов, еще возникают так называемые токовые шумы, обусловленные мелкозернистой структурой токопроводящего элемента. Напряжение токовых шумов зависит от материала композиции, конструкции резистивного элемента и тока, протекающего по резистору. При прохождении электрического тока по такому элементу происходят местные нагревы, сопровождающиеся разрушением контактов между одними частицами и спеканием других, а также возникают электрохимические процессы и механические вибрации частиц. Это вызывает непрерывное хаотическое изменение пути электрического тока, в результате чего

на проходящий постоянный ток накладывается переменная шумовая составляющая. Шумовое напряжение, создаваемое этим током на концах резистора, оказывается значительно больше теплового и имеет непрерывный спектр, интенсивность которого увеличивается в области низких частот.

Шумовое напряжение, создаваемое шумовым током, пропорционально приложенному постоянному напряжению и квадратному корню из полосы пропускания. Действующее значение этого напряжения, измеренное в пределах определенной полосы частот и отнесенное к величине приложенного постоянного напряжения U_0, называют электродвижущей силой шумов $E_ш$; ее выражают в микровольтах на вольт. Полное напряжение токовых шумов равно: $U_ш = E_ш U_0$. Измеряют э. д. с. токовых шумов обычно в полосе частот от 50 Гц до 5 кГц при нагрузке низкоомных резисторов номинальной мощностью, а высокоомных — номинальным напряжением.

Шумы перемещения подвижной системы являются важным параметром переменного резистора и в значительной мере определяют возможность использования резистора того или иного типа в конкретной схеме. При перемещении подвижной системы резистора на закономерное изменение установленного сопротивления в соответствии с заданной функциональной характеристикой накладывается некоторая переменная составляющая. Если между выводами *1* и *3* резистора приложено некоторое напряжение, то в процессе регулирования снимаемое с выводов *2* и *3* выходное напряжение будет содержать переменную составляющую помех, называемую напряжением шумов перемещения подвижной системы переменного резистора.

Шумы перемещения особенно характерны для непроволочных переменных резисторов. Их уровень значительно превышает уровень тепловых и токовых шумов в резистивном элементе и достигает 30—50 мВ. Источниками шумов вращения могут быть:

шумы переходного сопротивления, возникающие в результате появления контактной разности потенциалов между подвижным контактом и резистивным элементом;

термо-э. д. с.—сила, возникающая при нагреве резистивного элемента при быстром вращении подвижной системы;

неоднородность структуры и дефекты в резистивном слое и подвижном контакте.

Измерение шумов производится с помощью шумомеров при непрерывном вращении оси со скоростью 60—80 циклов/мин.

Номинальная мощность и предельное напряжение. Под номинальной мощностью $P_н$ понимается максимально допустимая мощность, которую резистор может длительное время рассеивать при непрерывной электрической нагрузке в заданных условиях, сохраняя параметры в установленных пределах.

Ограничивающими факторами при работе резистора являются температура нагрева и максимальное напряжение.

С повышением температуры окружающей среды теплоотдача ухудшается, происходит перегрев резистора сверх допустимой температуры, в результате чего появляется необходимость снижения электрической нагрузки, т. е. уменьшения рассеиваемой мощности. Иными словами, фактическая мощность рассеяния связана с окружающей температурой и условиями эксплуатации. Обычно приводятся зависимости мощности от температуры, по которым выбирается электрическая нагрузка в зависимости от условий использования резистора.

Мощность, которую может рассеивать резистор, зависит от конструкции и физических свойств примененных материалов. Чем выше теплостойкость конструкционных и резистивных материалов, тем выше рассеиваемая мощность для данного объема резистора.

Часто пользуются такой характеристикой, как удельная мощность (нагрузка) резистора — отношение номинальной мощности рассеяния $P_н$ к объему резистора V:

$$P_{уд} = \frac{P_н}{V}.$$

Удельная мощность в совокупности с другими характеристиками позволяет сравнивать между собой различные типы резисторов.

Резисторы рассчитываются на номинальную мощность рассеяния $P_н$ в ваттах, значения которой устанавливаются из ряда: 0,01, 0,025, 0,05, 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 5, 8, 10, 16, 25, 50, 75, 100, 160, 250, 500.

Напряжение, которое может быть подано на резистор, не должно превышать значения напряжения, рассчитанного исходя из номинальной мощности рассеяния $P_н$ и номинального сопротивления $R_н$ по формуле:

$$U_{макс} = \sqrt{P_н R_н},$$

или значения предельного рабочего напряжения (в зависимости от того, какое из этих значений меньше).

Предельное рабочее напряжение — максимальное напряжение для данного типа резистора, которое устанавливается, исходя из его конструкции, размеров и условий обеспечения длительной работоспособности.

При нормальном и повышенном атмосферном давлении предельное напряжение на резисторе ограничивается тепловыми процессами в резистивном элементе и электрической прочностью резистора, а при пониженных давлениях основным ограничивающим фактором является электрическая прочность, которая уменьшается со снижением атмосферного давления. Здесь возможны электрический пробой или поверхностное перекрытие. При очень низких давлениях электрическая прочность возрастает, так как число носителей зарядов в окружающей среде падает.

Проверка электрической прочности резисторов производится при заданном испытательном напряжении, которое подается в течение 1 мин (для изолированных резисторов в течение 10 с). Обнаружение электрического пробоя и поверхностного разряда производится визуально или при помощи акустического, оптического или другого безынерционного индикатора.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резистора характеризует относительное изменение сопротивления при изменении внешней температуры на 1 К. ТКС резистора зависит в основном от температурного коэффициента материала резистивного элемента. Значения ТКС для наиболее широко используемых резисторов приведены в табл. 2.

Температурный коэффициент сопротивления определяется в интервале рабочих температур резистора либо с помощью специального измерителя ТКС, либо путем измерения трех значений сопротивления: при нормальной температуре, крайней положительной и край-

Таблица 2

Типы резисторов	Значения ТКС, K^{-1}
Композиционные объемные СПО	$(-20 \div +6)\cdot 10^{-4}$
Композиционные лакопленочные СП	$\pm(10 \div 25)\cdot 10^{-4}$
Проволочные общего применения	$(-5 \div +10)\cdot 10^{-4}$
Проволочные точные и прецизионные	$\pm(0{,}15 \div 1{,}5)\cdot 10^{-4}$

ней отрицательной температурах с последующим вычислением ТКС по формуле:

$$\text{ТКС} = \frac{\delta R}{R\delta T},$$

где R — сопротивление резистора, измеренное при нормальной температуре; δR — алгебраическая разность сопротивления, измеренного при заданной положительной или заданной отрицательной температуре, и сопротивления, измеренного при нормальной температуре; δT — алгебраическая разность заданной положительной или заданной отрицательной температуры и нормальной температуры.

Длительность выдержки резистора при каждой температуре измерения зависит от конструкции и размеров и определяется моментом установления температурного равновесия между резистором и окружающим воздухом в камере. Для большинства типов резисторов достаточна выдержка в пределах 0,5—1 ч.

Износоустойчивость. Под износоустойчивостью понимают спо-способность резистора сохранять свои параметры в определенных пределах при многократных вращениях подвижной системы (противостоять изнашиванию). Это одна из основных эксплуатационных характеристик переменных резисторов.

Количественно износоустойчивость оценивается числом циклов перемещения подвижной системы в течение срока службы при сохранении стабильности параметров в пределах установленных допусков и определяется в основном конструкцией, материалом и формой подвижного контакта и резистивного элемента и контактным давлением. Циклом называется перемещение подвижной системы от упора до упора и обратно. Для резисторов без упоров циклом перемещения подвижной системы является ее перемещение из положения, соответствующего наименьшему электрическому сопротивлению, в положение, соответствующее его наибольшему значению, и обратно.

При вращении подвижной системы происходит износ как самого резистивного элемента, так и подвижного контакта. Этот процесс износа тем интенсивнее, чем больше контактное усилие. Отсюда следует, что для повышения износоустойчивости необходимо снижать контактное давление, но в этом случае вследствие уменьшения момента вращения подвижной системы снижается стойкость к механическим воздействиям. Поэтому очень трудно соблюсти требование высокой износоустойчивости при сохранении механической стойкости.

Для точных потенциометров, работающих в следящих системах, характерны низкие контактные давления и соответственно малые моменты вращения. Их износоустойчивость достигает 10^5—10^7 поворотов, но при этом вибрационная и ударная стойкость ниже, чем у резисторов общего применения.

Регулировочные резисторы общего применения обладают хорошей механической стойкостью, но их износоустойчивость ниже и лежит в пределах 5000—50 000 циклов.

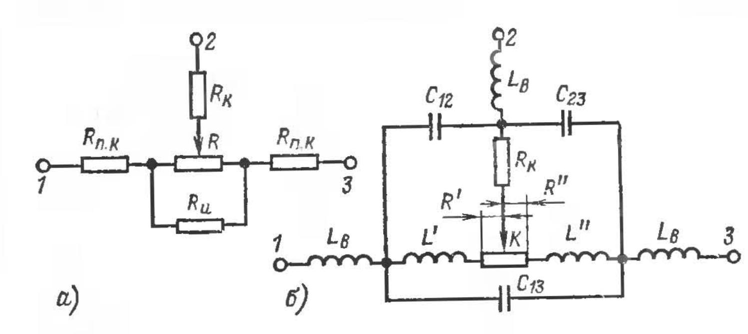


Рис. 5. Эквивалентная схема переменного резистора на постоянном (*а*) и переменном (*б*) токе.

R — сопротивление токопроводящего слоя резистивного элемента; $R_{п.к}$ — переходное сопротивление контактов на концах резистивного элемента; $R_к$ — контактное сопротивление между резистивным элементом и подвижным контактом; L', L'' — индуктивность резистивного элемента справа и слева от подвижного контакта; $L_в$ — индуктивность выводов; C_{12}, C_{23}, C_{13} — емкость между соответствующими выводами резистора.

Подстроечные резисторы имеют износоустойчивость 500—1000 циклов.

Эквивалентные схемы переменных резисторов [4]. Общее сопротивление переменного резистора можно рассматривать как совокупность активных и реактивных сопротивлений. Наличие реактивных параметров обусловливает комплексный характер проводимости резисторов на переменном токе (особенно на высоких частотах). При работе резистора в цепи постоянного тока реактивные составляющие могут не учитываться. В этом случае можно ограничиться учетом активных компонентов сопротивления и пользоваться эквивалентной схемой, показанной на рис. 5, *а*.

В нормальных климатических условиях сопротивление изоляционного основания $R_и$ можно не учитывать. Сопротивление переходного контакта $R_{п.к}$ — сопротивление между резистивным элементом и выводом резистора — определяется конструкцией контактного узла, величиной контактной поверхности между выводом и резистивным элементом. Сопротивление $R_{п.к}$ наиболее сильно сказывается в низкоомных резисторах. Для снижения переходных сопротивлений используют специальные конструктивные и технологические приемы.

Контактное сопротивление между резистивным слоем и подвижным контактом резистора $R_к$ определяется конструкцией подвижного контакта, электрофизическими и механическими свойствами контак-

тирующих материалов, а также давлением подвижного контакта на резистивный элемент.

Сопротивление резистора в цепи переменного тока носит комплексный характер. У проволочных переменных резисторов реактивные компоненты сопротивления сказываются уже на частотах в несколько килогерц. Резистивный элемент переменного резистора, как и всякий проводник, обладает распределенными реактивными параметрами — емкостью и индуктивностью. Кроме того, во всех

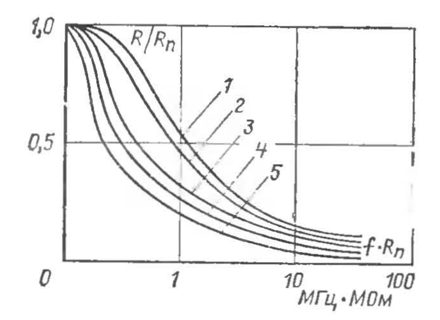


Рис. 6. Зависимость отношения $R/R_п$ от произведения $fR_п$ для композиционных пленочных резисторов мощностью 0,5 Вт.

1, 2 — для резисторов СП3-9а с номинальным сопротивлением 2,2 и 4,7 МОм соответственно; *3—5* для резисторов СП-I с номинальным сопротивлением 1; 2,2 и 3,3 МОм соответственно.

конструкциях имеют место сосредоточенная емкость выводов резистора и емкость по отношению к каркасу устройства. Поэтому эквивалентная схема, приведенная на рис. 5, *а*, применима только при работе резистора в цепи постоянного или переменного тока в области звуковых частот.

При повышенных частотах необходимо учитывать, что резистивный элемент обладает реактивными параметрами. Полная эквивалентная схема переменного резистора на переменном токе высокой частоты показана на рис. 5, *б*. Для широко распространенных типов переменных резисторов емкости C_{12}, C_{23} определяются положением подвижного контакта и составляют 1—10 пФ. На высоких частотах (25—30 МГц) необходимо учитывать индуктивность выводов $L_в$, так как индуктивное сопротивление выводов на частотах 25—30 МГц имеет значение от 3 до 6 Ом, что составляет значительный процент номинального сопротивления, поскольку в высокочастотных цепях обычно применяются низкоомные резисторы. Частотные зависимости резисторов СП-1 и СП3-9 приведены на рис. 6.

Отметим, что в резисторах с подковообразным резистивным элементом емкость и индуктивность значительно больше, чем в резисторах с прямоугольным и цилиндрическим резистивным элементом. Поэтому в высокочастотных схемах целесообразно использовать переменные резисторы с прямоугольным и цилиндрическим резистивным элементом.

Проволочные переменные резисторы, предназначенные для работы в высокочастотных цепях, часто выполняются с бифилярной намоткой, обладающей малой индуктивностью и большой емкостью; намотка выполняется сложенным вдвое проводом на круглом или плоском каркасе. Обычно бифилярная намотка используется в переменных резисторах реостатного типа (с одним выводом от резистивного элемента и одним выводом от подвижного контакта). В связи с тем, что емкость резистивного элемента, выполненного с бифилярной намоткой, может составлять десятки пикофарад, такие резисторы применяют в цепях переменного тока частотой до 100—150 кГц.

С целью улучшения теплоотвода и для экранирования от внешних источников электромагнитного излучения переменные резисторы часто выполняют в металлическом корпусе на изолированном металлическом основании. В этом случае между резистивным элементом и каркасом или корпусом появляется дополнительная емкость, что приводит к ухудшению частотных свойств резистора.

3. ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ С ОРГАНИЧЕСКИМ СВЯЗУЮЩИМ КОМПОНЕНТОМ

Переменные композиционные резисторы имеют резистивный элемент, выполненный на основе композиции — гетерогенной системы, состоящей из проводящего, изолирующего и связующего компонентов. Резисторы на основе композиций с органическим связующим компонентом являются самым массовым видом переменных резисторов общего применения. Использование композиционных материалов дает возможность выполнять резистивные элементы любой формы — объемного типа или в виде пленки, нанесенной на изоляционное основание.

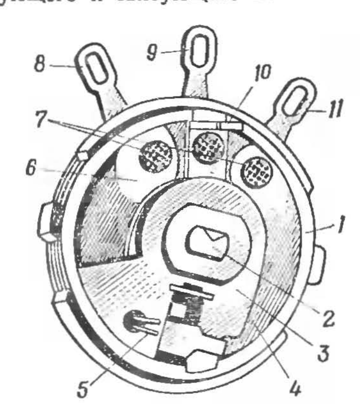


Рис. 7. Устройство переменного лакопленочного резистора.

Наиболее широкое распространение получили пленочные переменные резисторы на основе лакосажевых композиций. Внутреннее устройство такого резистора показано на рис. 7. К цилиндрическому основанию корпуса *1*, выполняемому из пластмассы, приклеен подковообразный резистивный элемент *4* из гетинакса или стеклотекстолита с нанесенным на поверхность композиционным текопроводящим слоем. Проводящий слой получают нанесением на поверхность полос гетинакса или стеклотекстолита суспензии, состоящей из смеси проводящего компонента (сажи или графита), органического связующего (фенольные и эфирные смолы), наполнителя и отвердителя. Изменяя состав суспензии, можно в широких пределах варьировать проводимость композиции и, следовательно, сопротивление резистивного элемента. После нанесения слоя суспензии и ее полимеризации при повышенной температуре из полос на штампах вырубают резистивные элементы нужной формы.

У резисторов с линейной функциональной характеристикой удельное поверхностное сопротивление токопроводящего слоя одинаково по всей поверхности резистивного элемента, а у резисторов с нелинейной функциональной характеристикой различно на разных участках резистивного элемента.

Резистивный элемент на концах имеет контактные площадки *6*, которые при помощи заклепок *7* соединены с выводами (лепестками) *8* и *11*.

В центре основания корпуса запрессована металлическая втулка, внутри которой свободно вращается металлическая ось *2* подвижной системы резистора. На внутреннем конце оси закреплена гетинаксовая пластинка *3* с установленным на ней подвижным контактом *5* из нескольких пружинящих проволочек. В собранном резисторе подвижной контакт с определенным усилием прижимается к поверхности токопроводящего слоя. Подвижной контакт имеет электрическое соединение с средним выводом (лепестком) *9* переменного резистора. При вращении оси подвижной контакт *5* скользит по поверхности резистивного элемента и сопротивление между выводами *8* и *9* изменяется. Для обеспечения необходимой износоустойчивости резистора применяется специальная смазка, снижающая трение в паре скользящий контакт — резистивный элемент.

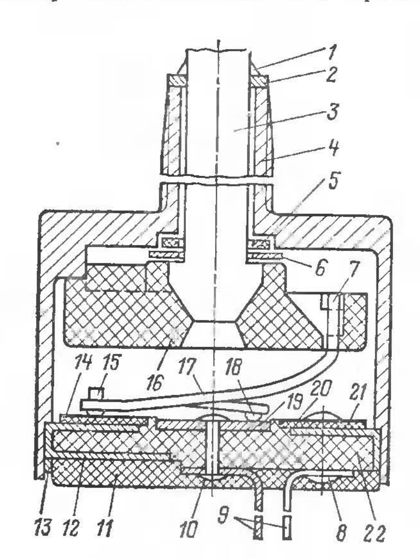


Рис. 8. Конструкция переменного лакопленочного резистора.

Механический угол поворота подвижной системы ограничивается упором *10*.

Описанный механизм закрыт металлической крышкой-экраном, предохраняющим резистор от механических повреждений, пыли, частично от влаги.

С помощью втулки, на внешней поверхности которой имеется резьба, и навинчиваемой на нее гайки резистор крепится в отверстии монтажной панели. Ось имеет на внешнем конце плоский срез для крепления ручки или шлиц для вращения оси с помощью отвертки. Последнюю конструкцию применяют в подстроечных резисторах.

Конструкцию такого типа имеет ряд ранних разработок лакопленочных переменных резисторов. В последующие годы были разработаны новые конструкции переменных лакопленочных резисторов. Одна из таких конструкций показана на рис. 8. Основные элементы резистора размещены внутри металлического корпуса *4*. Подвижная система состоит из оси *3*, впрессованной в пластмассовый ротор *16*, на котором в замок *7* установлена контактная пружина *17* с вставленным в отверстие на ее конце графитовым подвижным контактом *15* и напаянным на другом конце пружины контактом *18*. Ось подвижной системы свободно вращается в отверстие корпуса и зафиксирована в осевом направлении с помощью шайбы *2* путем ее расчеканки *1*. Резистивный элемент представляет собой лакосажевый токопроводящий слой *14*, нанесенный на изоляционное подковообразное основание *21* из гетинакса или стеклотекстолита, с металлизированными контактными площадками *20* на концах элемента.

При вращении подвижной системы подвижной контакт *15* скользит по резистивному слою *14*, а контакт *18* — по поверхности контактной шайбы *19*. Выводы *9* от резистивного элемента и подвижного контакта (контактной шайбы) закреплены с помощью заклепок *8* и *10*. Для облегчения теплового режима резистивного элемента в основании статора *22* предусмотрен теплоотвод *12*. Для

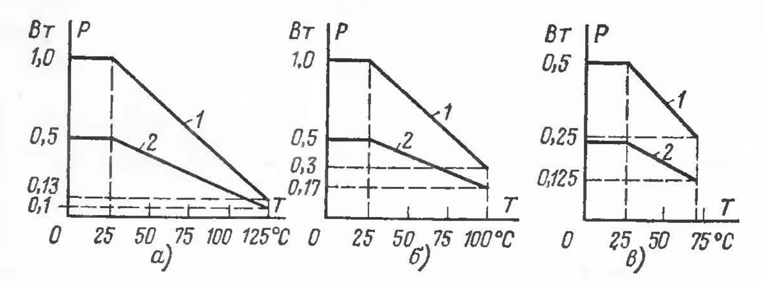


Рис. 9. Допускаемая электрическая нагрузка резисторов СП группы I (*а*), группы II (*б*), группы III (*в*).

1 — с линейной функциональной характеристикой; *2* — с нелинейной функциональной характеристикой.

герметизации конструкции со стороны оси служит уплотняющая резиновая шайба *5*, принимаемая опорной шайбой *6*. Со стороны основания статора герметизация обеспечивается заливкой герметизирующим компаундом *11*, *13*. Основные параметры переменных композиционных резисторов приведены в табл. 3 и 4.

Резисторы СП имеют показанную на рис. 7 конструкцию и являются в настоящее время, пожалуй, самым распространенным видом композиционных переменных резисторов. Они предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока. По конструкции резисторы СП делятся на следующие виды; СП-I — одинарный резистор без стопора оси с фиксаторами корпуса; СП-II — одинарный резистор со стопором оси, выполненным в виде дополнительных разрезных втулок с навинчивающимися гайками, что позволяет закрепить ось в заданном положении, после того как закончена регулировка сопротивления; СП-III, СП-IV — сдвоенные резисторы, имеют два проводящих элемента. Резистор СП-IV выполнен с устройством для стопорения оси; СП-V — одинарный резистор без стопора оси и фиксаторов корпуса.

В зависимости от допускаемых условий эксплуатации резисторы СП делятся на три группы (табл. 5). Резисторы с сопротивлением до 220 кОм имеют допускаемые отклонения от номинального сопротивления ±20%, а резисторы с сопротивлением более 220 кОм — ±30%.

Номинальная мощность рассеяния резисторов СП указывается при температуре 25°С. С увеличением температуры окружающего воздуха допустимая электрическая нагрузка резисторов должна быть снижена в соответствии с рис. 9.

Таблица 3

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габариты, мм	Механический угол поворота подвижной системы, град	Основное назначение (тип монтажа или вид аппаратуры использования)
СП-I	Переменный экраннрованный	⌀29×15	255	Для объемного монтажа
СП-II	Подстроечный экранированный со стопором оси	⌀29×15		То же
СП-III	Переменный сдвоенный экраннрованный	⌀29×32		» »
СП-IV	Подстроечный сдвоенный экранированный со стопором оси	⌀29×32		» »
СП-V	Переменный экраннрованный	⌀29×15		» »
ВК-а, ВК-б	То же	⌀34×17	270	Для объемного монтажа преимущественно в радиовещательных прнемниках стационарного типа
ВКУ-1а, ВКУ-1б	То же, с отводом от резистивного элемента для подключения цепочкн тонкокомпенсацин при регулировании громкости	⌀34×17		То же
ВКУ-2а, ВКУ-2б	То же с двумя отводами указанного назначения	⌀34×17		Для объемного монтажа
ТК, ТКД-а, ТКД-б	Переменный экранированный с выключателем на ток до 2 А при напряженин 127 В и 1 А при 220 В	⌀34×17		То же
СНК-а, СНК-б	Переменный сдвоенный экранированный; управление каждым резистором независимое	⌀34×35		» »
СНВКД-а, СНВКД-б	Переменный сдвоенный экранированный с выключателем; управление каждым резнстором независимое	⌀34×45		» »
СП-0,4	Переменный или подстроечный экранированный	⌀16×12,5	240	Для объемного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СП3-1а	Подстроечный неэкранированный	24×17,5, 5×18,5	255	Для печатного монтажа; установка параллельно плате
СП3-1б	То же	21,5×8, 2×15,5		Для печатного монтажа; установка перпендикулярно плате
СП3-2а	Переменный или подстроечный экраннрованный	⌀29×13	—	Для объемного монтажа
СП3-2б	Подстроечный экранированный	⌀29×13		Для печатного монтажа, установка перпендикулярна плате
СП3-3аМ	Переменный неэкранированный цилнндрнческий с выключателем на ток 0,15 А прн напряжении до 50 В	⌀14**×9,2	235	Для объемного монтажа, пренмущественно в портативных транзисторных приемниках
СП3-3бМ	То же дисковый	⌀22**×9,2		То же
СП3-3вМ	То же	⌀22**×9,2		Для печатного монтажа, преимущественно в портативных транзисторных приемниках
СП3-3гМ	» »	⌀22**×9,2		То же

4*

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габариты, мм	Механический угол поворота подвижной системы, град	Основное назначение (тип монтажа или вид аппаратуры использования)
СП3-4аМ	Переменный экранированный	⌀16×8	270	Для объемного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СП3-4бМ	То же	⌀16×8		То же
СП3-4вМ	Переменный экраннрованный с двухполюсным выключателем	⌀16×12		» »
СП3-4гМ	То же	⌀16×12		» »
СП3-4дМ	Переменный сдвоенный экранированный	⌀16×18		» »
СП3-4е	То же	20×23×22,5	—	То же
СП3-6	Переменный илн подстроечный экранированный	⌀12×16	230	Для аппаратуры на микромодулях илн с печатным монтажом, устаиовка перпендикулярно плате
СП3-6а	То же	⌀12×16		То же, установка параллельно плате
СП3-6б	» »	⌀12×16		Для объемного монтажа
СП3-7а	Переменный сдвоенный экраннрованный	⌀26×33	295	Для сннхронного регулнрования усилення или тембра в двух каналах стереофоническнх систем
СП3-7б	То же с двумя отводами	⌀26×33		
СП3-7в	То же с одним отводом на каждом резисторе			
СП3-8	Переменный сдвоенный экранированный с выключателем на ток до 4 А, управление каждым разистором независимое	⌀34×39	250	Для регулировання громкости и тембра в автомобильных приемниках
СП3-9а, СП3-9Ма	Переменный экранированный	⌀16×15	260	Для объемного монтажа
СП3-9б, СП3-9Мб	То же со стопором оси	⌀16×15		То же
СП3-9в	Переменный экранированный	⌀16×15		» »
СП3-9а-1, СП3-9а-2	То же		235	То же
СП3-9б-1, СП3-9б-2	Подстроечный со стопорением оси			» »
СП3-10а	Переменный сдвоенный экраннрованный, управление каждым резистором независнмое	⌀29×32	290	То же
СП3-10б	Переменный экранированный с двухполюсным выключателем	⌀29×24		» »
СП3-10в	Переменный сдвоенный экранированный с двухполюсным выключателем, управление каждым резистором независимое	⌀29×40		» »

Продолжение табл. 3

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габариты, мм	Механический угол поворота подвижной системы, град	Основное назначение (тип монтажа или вид аппаратуры использования)
СПЗ-12а	Переменный экранированный	⌀30×18	305	Для объемного монтажа в радиолах и радиовещательных приемниках высшего, I и II классов
СПЗ-12б	То же с дополнительным отводом	⌀30×18		То же
СПЗ-12в	То же с двумя дополнительными отводами	⌀30×18		» »
СПЗ-12г	Переменный экранированный сдвоенный	⌀29×29		» »
СПЗ-12д	То же с дополнительным отводом	⌀29×29		» »
СПЗ-12е	То же с двумя дополнительными отводами	⌀29×29		» »
СП-12и	Переменный экранированный сдвоенный с независимым вращением оси	⌀29×29		» »
СП-12к	Переменный экраннрованный с двухполюсным выключателем	⌀30×29		То же
СП-12л	То же, сдвоенный с независимым вращением осей	⌀29×39		» »
СПЗ-14	Переменный с четырьмя отводами	⌀21×16	290	Для объемного монтажа
СПЗ-16	Переменный экранированный, регулировочный и подстроечный	⌀11,7×10,9	230	Для объемного и печатного монтажа
СПЗ-17а	Переменный с фиксатором корпуса	⌀32×16	255	Для объемного монтажа
СПЗ-17б	Переменный или подстроечный со стопором оси и фиксатором корпуса	⌀32×16		То же
СПЗ-17в	Переменный сдвоенный с фиксатором корпуса	⌀32×28		» »
СПЗ-17г	Переменный или подстроечный сдвоенный со стопором оси и фиксатором корпуса	⌀32×28		» »
СПЗ-23в4	Переменный экранированный сдвоенный с одним дополнительным отводом и с нормированным разбалансом сопротивления	86×19×12		Для стереофонической аппаратуры
СПЗ-23г	Переменный экранированный	86×19×12	60	То же
СПЗ-23е	Переменный экранированный сдвоенный с нормированным разбалансом сопротивления	86×19×12	28	» »
СПЗ-23е2	То же с двумя дополнительными отводами	86×19×12		» »
СПЗ-23е3	То же	86×19×12		» »
СПЗ-25	Переменный сдвоенный с концентрическими осями	⌀24×21	230	Для объемного монтажа
СПЗ-26а	Подстроечный	⌀18×10,8	270	Для использования в качестве встроенных элементов внутреннего монтажа
СПЗ-26б	»	⌀32×10,8		
СПЗ-26в	»	⌀18×10,8		

Продолжение табл. 3

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габариты, мм	Механический угол поворота подвижной системы, град	Основное назначение (тип монтажа или вид аппаратуры использования)
СП3-27а	Подстроечный неэкранированный	10×12×3,5 14×16×4,1 18×20×4,5 25×26×4,7	230 280 280 280	Для печатного монтажа перпендикулярно плате
СП3-27б	Подстроечный неэкранированный	10×12×4 14×16×5 18×20×5,2 25×26×5,5	230 280 280	Для печатного монтажа параллельно плате
СП3-29а	Переменный	⌀28×10,5	250	Для использования в качестве встроенных элементов внутреннего монтажа аппаратуры, для печатного монтажа, установка параллельно плате
СП3-29б	»	⌀28×10,5	250	То же, установка перпендикулярно плате
СП3-33А	Переменный регулировочный одноэлементный с выключателем, без фиксации	23×16×20	320	Для печатного монтажа
СП3-33Б	То же с двумя отводами	23×23×20	320	То же
СП3-33В	То же	22,5×23×20	320	Для навесного монтажа
СП3-33Г	Переменный регулировочный сдвоенный с одним отводом	22,5×16××16,2	320	То же
СП3-33Д	То же	23×19,5××16,2	320	Для печатного монтажа
СП3-33Е	Сдвоенный без фиксации без отводов	22,5×16××16,2	320	Для навесного монтажа
СП3-33Ж	Сдвоенный без фиксации с двумя отводами	22,5×23××16,2	320	То же
СП3-33И	Сдвоенный без фиксации с одним отводом	23×19,5××16,2	320	Для печатного монтажа
СП3-33К	Сдвоенный без фиксации с двумя отводами	23×23×16,2	320	То же
СП3-33Л	Сдвоенный с переключателем без фиксации с одним отводом	23×19,5××26,2	320	» »
СП3-33М	То же с двумя отводами	23×23×26,2	320	» »
СП3-33Н	Счетверенный без фиксации без отводов	22,5×16××31,4	320	Для навесного монтажа
СП3-33П	То же с двумя отводами	22,5×23××31,4	320	То же
СП3-33Р	То же	23×23×31,4	320	Для печатного монтажа
СП3-33С	Счетверенный с выключателем с одним отводом	23×19,5×43	320	То же
СП3-33Т	Счетверенный с двумя концентрическими осями, с выключателем на одной оси, без фиксации	22,5×16×43	320	Для навесного монтажа
СП3-33У	То же с двумя отводами	23×23×43	320	Для печатного монтажа
СП4-1а, аМ	Регулировочный без стопорения оси	⌀12,8×12	300	Для навесного монтажа, крепление за втулку
СП4-1б, Мб	Регулировочный со стопорением оси	⌀12,8×12	300	То же

5—254

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габариты, мм	Механический угол поворота подвижной системы, град	Основное назначение (тип монтажа или вид аппаратуры использования)
СП4-1в	Регулировочный без стопорения оси	⌀12,8×12	300	Для печатного монтажа, крепление за выводы
СП4-2а	Регулировочный без стопорения оси	⌀21×12,5	300	Для навесного монтажа, крепление за втулку
СП4-2б	Регулировочный со стопорением оси	⌀21×12,5	300	То же
СП4-3	Регулировочный без стопорения оси	⌀12×13	290	Для печатного монтажа, крепление за выводы
СП4-4	Подстроечный высокоомный с одним дополнительным отводом	⌀12×12,3	280	Для печатного монтажа
СП4-6а	Переменный для работы только в качестве потенциометра		300	Для навесного монтажа, крепление за втулку
СП4-6б	То же		300	Для навесного монтажа, крепление за фланец
СП4-7	» »		340	Для навесного монтажа

* Указаны размеры корпусов резисторов без осей, втулок крепления и контактных выводов.
** Диаметр лимба управления с накаткой.

Резисторы с нелинейной функциональной характеристикой имеют неравномерную удельную нагрузку по поверхности элемента и соответственно неравномерный нагрев отдельных участков. В связи с этим резисторы с нелинейной функциональной характеристикой имеют вдвое меньшую номинальную мощность рассеяния (0,25—0,5 Вт), хотя их конструкция такая же, как у линейных резисторов.

Электрические параметры сдвоенных резисторов определяются параметрами одинарных резисторов, однако резистор, более удаленный от втулки, используемой для крепления, вследствие отсутствия теплового контакта с шасси находится в худших условиях теплоотдачи, поэтому его допустимая нагрузка обычно снижается на 50%.

Температурный коэффициент сопротивления резисторов в диапазоне рабочих температур не превышает $\pm 1000 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$ для резисторов с сопротивлением до 100 кОм и $\pm 2000 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$ для резисторов с сопротивлением 100 кОм и более.

Минимальное сопротивление резисторов типа СП с линейной функциональной характеристикой с номинальным сопротивлением до 2,2 кОм не более 10 Ом, свыше 2,2 кОм до 10 кОм—70 Ом, свыше 10 кОм до 22 кОм — 100 Ом, свыше 22 кОм — 200 Ом.

Уровень собственных шумов не превышает 30 мкВ/В для резисторов с линейной функциональной характеристикой и 40 мкВ/В для резисторов с нелинейной характеристикой. Значения э. д. с. собственных шумов резисторов СП для различных диапазонов номинальных сопротивлений приведены в табл. 6.

Резисторы ВК, ВКУ-1, ВКУ-2, ТК, ТКД, СНК, СНВКД имеют конструкцию, подобную конструкции резистора СП. Основные параметры этих резисторов приведены в табл. 3 и 4. Уровень собственных шумов резисторов этих типов с номинальным сопротивлением менее 470 кОм составляет 15 и 30 мкВ/В для резисторов с линейной и нелинейной функциональной характеристикой соответственно. Для резисторов с номинальным сопротивлением 470 кОм и более э. д. с. собственных шумов 40 и 50 мкВ/В. Для резисторов этих типов с выключателем переходное сопротивление контактов выключателя (сопротивление между выводами выключателя в положении «Включено») после 10 000 переключений не более 0,4 Ом, угол поворота оси, необходимый для срабатывания выключателя, не более 60°.

Резистор СП-0,4 имеет плавную и надежную регулировку, коэффициент общего изменения его сопротивления в течение срока службы у 99% изделий не более ±5%. Уровень собственных шумов при напряжении, не превышающем предельного значения, у резисторов с номинальным сопротивлением от 100 до 470 кОм не более 15 мкВ/В. У резисторов с номинальным сопротивлением менее 10 кОм и свыше 470 кОм уровень шумов не нормируется.

Подстроечный резистор СП3-1 в рабочем интервале температур имеет различное значение ТКС для образцов с различным номинальным сопротивлением: до 100 кОм — $\pm 1000 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$; более 100 кОм — $\pm 2000 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$. Уровень собственных шумов также зависит от номинального сопротивления: при $R_н \leqslant 47$ кОм — 5 мкВ/В, при 47 кОм$< R_н \leqslant 220$ кОм — 10 мкВ/В, при $220 < R_н \leqslant 470$ кОм— 20 мкВ/В, при $R_н > 470$ кОм—40 мкВ/В. Допускаемое отклонение для резисторов с номинальным сопротивлением до 220 кОм не более ±20%, свыше 220 кОм — не более ±30%.

Таблица 4

Тип резистора	Функциональная характеристика	$R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	P при $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	ТКС, 10^{-4} K^{-1}, не более	Интервал рабочих температур, °C	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В, не более	Минимальное сопротивление, Ом, не более	Начальный скачок сопротивления, %, не более	Напряжение шумов перемещения, мВ, не более	Гарантируемое количество циклов перемещения подвижной системы
СП-I; СП-II, СП-V	А	470 Ом—4,7 МОм	±20; ±30%	1	0,1	500	±10; ±20	—65 ÷ +125	30	10—200	7	—	12 500
СП-III, СП-IV	Б; В	4,7 кОм—2,2 МОм	±20; ±30%	0,5	0,125	400	±10; ±20	—65 ÷ +125	40	50	1,5	—	12 500
	А А	470 Ом—4,7 МОм 470 Ом—4,7 МОм		0,5 0,25	0,25 0,125	400 400			30	10—200	7		
	Б; В Б; В	4,7 кОм—2,2 МОм 4,7 кОм—2,2 МОм		0,25 0,125	0,125 0,06	350 350			40	50	1,5		
	Б; В А	4,7 кОм—2,2 МОм 470 Ом—4,7 МОм		0,25 0,25	0,125 0,125	350 400			40 30	50 10—200	1,5 7		
	А Б; В	470 Ом—4,7 МОм 4,7 кОм—2,2 МОм		0,5 0,125	0,25 0,06	400 350			30 40	10—200 50	7 1,5		
ВК-а; ВК-б	А Б; В	22 кОм—6,8 МОм 15 кОм—2,2 МОм	±30	0,5 0,25	0,16 0,08	350 200	—	—10 ÷ +70	40 50	100 100	7 1,5	—	10 000
ВКУ-1а[2], ВКУ-1б[2]	В	22 кОм, 1 МОм	±30	0,25	0,08	200	—	—10 ÷ +70	50	100	1,5	—	10 000
ВКУ-2а, ВКУ-2б[3]	В	470 кОм	±30	0,25	0,08	200	—	—10 ÷ +70	50	100	1,5	—	10 000
ТК, ТКД-а, ТКД-б	А Б; В	2,2 кОм—6,8 МОм 15 кОм—2,2 МОм	±30	0,5 0,25	0,16 0,08	350 200	—	—10 ÷ +70	40 50	100	7 1,5	—	10 000
СНК-а, СНК-б	А А	1 МОм 100 кОМ—1 МОм	±30	0,5 0,5	0,16 0,16	350 350	—	—10 ÷ +70	40	—	7	—	10 000
	В А	22 кОм—1 МОм 100 кОм—1 МОм		0,25 0,25	0,08 0,08	200 350			50 40		1,5 7		
СНВКД-а, СНВКД-б	А А	1 МОм 100 кОм—1 МОм	±30	0,5 0,5	0,16 0,16	350 350	—	—10 ÷ +70	40	—	7	—	10 000
СНВКД-а, СНВКД-б	В А	22 кОм—1 МОм 100 кОм—1 МОм		0,25 0,25	0,08 0,08	200 350		—10 ÷ +70	50 40		1,5 7		
СП-0,4	А	470 Ом—4,7 МОм		0,4	0,25	250	±20	—40 ÷ +70	15	30—100	15	—	5000
СПЗ-1а	А	470 Ом—1 МОм	±20; ±30	0,25	0,08	250	±10; ±20	—60 ÷ +70	40	10—200	15	—	500

Продолжение табл. 4

Тип резистора	Функциональная характеристика	$R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	P при $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	ТКС, 10^{-4} K^{-1}, не более	Интервал рабочих температур	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В, не более	Минимальное сопротивление, Ом, не более	Начальный скачок сопротивления, %, не более	Напряжение шумов перемещения, мВ, не более	Гарантируемое количество циклов перемещения подвижной системы
СП3-1б	А	470 Ом—1 МОм	±20; ±30	0,25	0,08	250	±10; ±20	—60 ÷ +70	40	10—200	15	—	500
СП3-2а	А	470 Ом—4,7 МОм	±20; ±30	0,5	0,16	300	±20	—60 ÷ +70	—	—	—	—	500
	Б; В	4,7 кОм—2,2 МОм		0,25	0,08	200							
СП3-2б	А	470 Ом—4,7 МОм		0,5	0,16	300							
СП3-3а	Б; В	4,7 кОм—2,2 МОм	±20; ±30	0,025	0,008	30	±10; ±20	—60 ÷ +55	50	25—100	3	80	500
	А	1 кОм—1 МОм		0,05	0,035	50			40	10—200	10		
СП3-3б	В	4,7 кОм—1 МОм		0,025	0,017	30			50	25—100	3		
	А	1 кОм—1 МОм		0,05	0,035	50			40	10—200	10		
СП3-3в	В	4,7 кОм—1 кОм		0,025	0,017	30							
	А	1 кОМ—1 МОм		0,05	0,035	50			40	25; 50	10		
СП3-3д	А	10 кОм—47 кОм	±20	0,05	0,035	50			50	15; 50	3		10 000
	Б	10 кОм—47 кОм	±20	0,025	0,017	30							
СП3-4аМ	В; Б	4,7 кОм—470 кОм	—	0,125	0,03	10	±10; ±20	—40 ÷ +70	5—20	12	0,1—1	—	12 500
	А	220 Ом—470 кОм		0,25	0,06	150				10—200	10		
СП3-4бМ	Б; В	4,7 кОм—470 кОм		0,125	0,03	100				12	0,1—1		
	А	220 Ом—470 кОм		0,25	0,06	150				10—200	10		
СП3-4вМ	А	220 Ом—470 кОм		0,125	0,03	150				10—200	10		
	Б; В	4,7—470 кОм		0,05	0,012	100				12	0,1—1		
СП3-4гМ	А	220 Ом—470 кОм		0,125	0,03	150				10—200	10		
	Б; В	4,7—470 кОм		0,05	0,011	100				12	0,1—1		
СП3-4дМ	А А	220 Ом—470 кОм 220 Ом—470 кОм		0,25 0,125	0,06 0,03	150 150				10—200 10—200	10 10		
	Б; В Б; В	4,7—470 кОм 4,7—470 кОм		0,125 0,05	0,03 0,012	100 100				12 12	0,1—1 0,1—1		

Продолжение табл. 4

Тип резистора	Функциональная характеристика	$R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	P при $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	ТКС, $10^{-4} К^{-1}$, не более	Интервал рабочих температур, °С	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В, не более	Минимальное сопротивление, Ом, не более	Начальный скачок сопротивления, %, не более	Напряжение шумов перемещения, мВ, не более	Гарантируемое количество циклов перемещения подвижной системы
СПЗ-4дМ	Б; В А	4,7—470 кОм 220 Ом—470 кОм	—	0,125 0,125	0,03 0,03	100 150	±10; ±20	—40 ÷ +70	5—20	12 10—200	0,1—1 10	—	12 500
	А Б; В	220 Ом—470 кОм 4,7—470 кОм		0,25 0,05	0,06 0,012	150 100				10—200 12	10 0,1—1		
СПЗ-4е	В В	10 кОм 10 кОм	±20	0,125 0,05	—	35 20	±20	—45 ÷ +70	—	12 12	0,1—1 0,1—1	50	10 000
СПЗ-5	А	1 кОм—1 МОм		0,5	0,2	250	—	—	—	—	—	—	—
СПЗ-6, СПЗ-6а	А	1 кОм—1 МОм	±10; ±20; ±30	0,125	0,06	160	±10; ±20	—60 ÷ +100	15	25; 10	15	—	5000
СПЗ-6б	А	1 кОм—1 МОм	±10; ±20; ±30	0,125	0,06	160	±10; ±20	—60 ÷ +100	15	25; 10	15	—	500
СПЗ-8	А В	22 кОм—2,2 МОм 10 кОм—470 кОм	±20; ±30 ±20; ±30	—	—	350 200	±20	—25 ÷ +70	50 30	100 25—50	5 1,5	60 60	10 000
СПЗ-9а, СПЗ-9б, СПЗ-9в	А А	1 кОм—4,7 МОм 1 кОм, 6,8 кОм	±10; ±20; ±30 ±10; ±20	0,5 0,5	0,1 0,1	250 250	±20; ±14	—60 ÷ +100	5—15	25—250	7; 10	50	10 000
СПЗ-10а	А А	470 Ом—4,7 МОм 470 Ом—4,7 МОм	±10; ±20; ±30	2 1	1 0,5	500 500	±10; ±20	—60 ÷ +100	40	10—50 10—50	7 7	50	12 500
	Б; В Б, В	4,7 кОм—2,2 МОм 4,7 кОм—2,2 МОм		1 0,5	0,5 0,25	400 400				50 50	1,5 1,5		
	Б; В А	4,7 кОм—2,2 МОм 470 Ом—4,7 МОм		1 1	0,5 0,5	400 500				50 10—50	1,5 7		
	А Б; В	470 Ом—4,7 МОм 4,7 кОм—2,2 МОм		1 1	0,5 0,5	500 400				10—50 50	7 1,5		
СПЗ-10б	А Б; В	470 Ом—2,2 МОм 4,7 кОм—1 МОм		1 1	0,5 0,5	500 400	±10; ±20	—60 ÷ +100	40	10—50 50	10 1,5	50	12 500
СПЗ-10в	А А	470 Ом—4,7 МОм 470 Ом—2,2 МОм		2 0,5	1 0,25	500 500	±10; ±20	—60 ÷ +100	40	10—50 10—50	10 10	50	12 500

Продолжение табл. 4

Тип резистора	Функциональная характеристика	$R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	P при $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	ТКС, 10^{-4} $К^{-1}$, не более	Интервал рабочих температур, °С	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В, не более	Минимальное сопротивление, Ом, не более	Начальный скачок сопротивления, %, не более	Напряжение шумов перемещения, мВ, не более	Гарантируемое количество циклов перемещения подвижной системы
СП3-10В	Б; В Б; В	4,7 кОм—2,2 МОм 4,7 кОм—1 МОм	±10; ±20; ±30	1 0,25	0,5 0,125	400 400	±10; ±20	—60 ÷ +100	40	50 50	1,5 1,5	50	12 500
	Б; В А	4,7 кОм—1 МОм 470 Ом—4,7 кОм		1 0,5	0,5 0,25	400 500				50 10—50	1,5 10		
	А Б; В	470 Ом—2,2 МОм 4,7 кОм—2,2 МОм		2 0,25	1 0,125	500 400				10—50 50	10 1,5		
СП3-12	А	2,2 кОм—2,2 МОм	±10; ±20; ±30	0,25 0,125	0,125 0,06	200 200	±20	—40 ÷ +70	30; 50	25— 1000 12—500	2; 5 0,1— 0,3	47	10 000
	В	4,7 кОм—2,2 МОм											
	Е И	100 кОм—2,2 МОм 100 кОм—2,2 МОм	±20; ±30	0,125 0,125	0,06 0,06	200 200	±20 ±20	—40 ÷ +70 —40 ÷ +70	30; 50	50÷500 50÷500	— —		10 000 10 000
СП3-14	А	1,5 МОм—3,3 МОм	±30	—	—	300	±20	—60 ÷ +85	40	200	7	—	12 500
СП3-16а, б, д СП3-16в, г	А А	1 кОм—1 МОм 1 кОм—1 МОм	±20; ±30	0,125 0,125	0,03 0,03	150 150	±10; ±20	—60 ÷ +125	10; 20	25, 100	15	50	5000 500
СП3-17а, б СП3-17в, г	А Б; В	470 Ом—4,7 МОм 4,7 кОм—2,2 Мом	±20; ±30	2 1	0,2 0,1	500 400	10; ±20	—60 ÷ +125	5—40 5—50	10—200 50	7 1,5	—	—
СП3-24	В	100 кОм	±10	0,125	0,05	110	±20	—45 ÷ +70	15	50	2	—	1000
СП3-26	А В	33 кОм—220 кОм 33 кОм—220 кОм	±20	0,25 0,125	0,1 0,05	150 100	±10	—45 ÷ +70	10	—	7 1	47	1000
СП3-27а, б	А	470 Ом—10 кОм 470 Ом—1 МОм 470 Ом—1 МОм 470 Ом—1 МОм	±20; ±30	1 0,5 0,25 0,125	0,4 0,2 0,1 0,05	100 350 250 150	±10; ±20	—45 ÷ +70	40	10—200	10	—	500
СП3-29а, б	А	1 МОм—10 МОм	±30	1	0,2	1000	±20	—45 ÷ +70	30, 40	200	7	47	25 000
СП3-33	А Б; В; С	100 Ом—4,7 МОм 1 кОм—2,2 МОм	±10; ±20; ±30	0,25 0,125	0,05 0,03	150 100	±10; ±15	—45 ÷ +70	30 40	200 50	15 2,5	47	25 000

Продолжение табл. 4

Тип резистора	Функциональная характеристика	$R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	P при $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	ТКС, 10^{-4} К$^{-1}$, не более	Интервал рабочих температур, °C	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В, не более	Минимальное сопротивление, Ом, не более	Начальный скачок сопротивления, %, не более	Напряжение шумов перемещения, мВ, не более	Гарантируемое количество циклов перемещения подвижной системы
СП4-1а, б	А Б; В	100 Ом—4,7 МОм 1 кОм—2,2 МОм	±20; ±30	0,5 0,25	0,1 0,05	250 200	±15; ±20	−60 ÷ +125	3; 6	12—1500 25—500	10 1,5	—	12 500
СП4-1в	А	100 Ом—4,7 МОм		0,25	0,05	250				12—1500	10		
СП4-2а, б	А Б; В	47 Ом—4,7 МОм 1 кОм—2,2 МОм	±20; ±30	1 0,5	0,2 0,1	350 300	±15; ±20			12—1500 25—500	10 1,5		
СП4-3	А	100 Ом—4,7 МОм	±20; ±30	0,125	0,025	150	±15; ±20			12—1500	10		
СП4-4	А	68 МОм—330 МОм	±30			360	±20	−60 ÷ +70	—	100 000	—	—	500

Таблица 5

Группа резисторов	Атмосферные условия	
	Температура, °C	Относительная влажность, %, не более
I	От −65 до +125	98 при +40°C
II	От −65 до +100	
III	От −40 до +70	85 при +25°C

Таблица 6

Пределы номинальных сопротивлений, кОм	Э. д. с. шумов, мкВ/В, не более	
	для резисторов с линейной функциональной характеристикой	для резисторов с нелинейной функциональной характеристикой
$0,47 \geqslant R_н \geqslant 47$	4	5
$47 > R_н \geqslant 220$	8	10
$220 > R_н \geqslant 470$	15	20
$470 > R_н \geqslant 4700$	30	40

Значения минимального сопротивления резисторов СПЗ-1 идентичны минимальному сопротивлению резисторов СП с линейной функциональной характеристикой.

Резисторы СПЗ-3 имеют такие же значения допускаемых отклонений сопротивления и ТКС, как и резисторы СПЗ-1. Электродвижущие силы собственных шумов резисторов даны в табл. 7.

Таблица 7

Пределы номинальных сопротивлений, кОм	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В	
	для резисторов с линейной функциональной характеристикой	для резисторов с нелинейной функциональной характеристикой
До 47	5	6
Более 47 до 220	10	12
Более 220 до 470	20	25
Более 470	40	50

Значения минимального сопротивления резисторов СПЗ-3 приведены в табл. 8.

Таблица 8

Пределы номинальных сопротивлений, кОм	Минимальное сопротивление, Ом	
	резисторов с линейной функциональной характеристикой	резисторов с нелинейной функциональной характеристикой
До 2,2	10	—
От 2,2 до 10	25	25
От 10 до 22	50	50
От 22 до 100	50	50
От 100 до 220	200	50
Более 220	200	100

Выключатель резистора СПЗ-3 в начальный период имеет переходное сопротивление контактов не более 0,2 Ом, а после 10 000 переключений — не более 0,4 Ом.

Гарантируемая износоустойчивость выключателя — 10 000 переключений, угол поворота оси, необходимый для срабатывания выключателя, — не более 60°.

Резистор СПЗ-4М изготавливается одиннадцати видов. ТКС резисторов СПЗ-4М имеет те же значения, что и для резисторов СП. Разбаланс установленного сопротивления сдвоенных резисторов при любом положении подвижной системы не должен превышать значений, указанных в табл. 9.

Таблица 9

$R/R_п$, %	Разбаланс, дБ, не более
Менее 1	Требований нет
1—3	4
3—10	3
10—100	2

После 10 000 циклов поворотов подвижной системы при электрической нагрузке, соответствующей номинальной мощности рассеяния, допускается изменение полного сопротивления резистора в пределах —8÷+7%. Минимальное сопротивление резисторов СПЗ-4М с линейной функциональной характеристикой имеет значения, указанные в табл. 8. Минимальное сопротивление резисторов с нелинейной функциональной характеристикой не превышает 12 Ом. Начальный скачок сопротивления резисторов с нелинейной функциональной характеристикой для сопротивлений 4,7 и 6,8 кОм не более 1%, свыше 6,8 кОм до 33 кОм — не более 0,4%, свыше 33 кОм — не более 0,1%. Электродвижущая сила собственных шумов резисторов СПЗ-4 имеет следующие значения: 5 мкВ/В для номинальных сопротивлений до 10 кОм, 10 мкВ/В для номинальных сопротивлений свыше 10 кОм до 68 кОм, 20 мкВ/В для номинальных сопротивлений свыше 68 кОм.

Переходное сопротивление контактов выключателя резистора СПЗ-4 не более 0,3 Ом, коммутируемый выключателем ток не более 2 А при напряжении постоянного тока 7,5 В или 0,68 А при напряжении переменного тока 220 В.

Резистор СПЗ-6 (влагозащищенный) имеет допускаемое отклонение ±10, ±20% для номинальных сопротивлений до 150 кОм и ±20, ±30% при номинальном сопротивлении свыше 150 кОм.

Резистор СПЗ-8 — сдвоенный с концентрическими осями (с независимым управлением), с однополюсным выключателем на оси второго резистора и дополнительным отводом от резистивного элемента второго резистора. Сопротивление дополнительного отвода лежит в пределах 20—40% полного сопротивления резистора. Переходное сопротивление контактов выключателя не более 0,02 Ом, разрывной ток выключателя 4 А при напряжении от 6 до 18 В.

Резистор СПЗ-9 имеет значение минимального сопротивления не более 25 Ом для изделий с номинальным сопротивлением до 22 кОм и не более 250 Ом для изделий с номинальным сопротивлением свыше 22 кОм. Начальный скачок сопротивления для резисторов с сопротивлением до 100 кОм не более 10%, свыше 100 кОм — не более 7%.

Резистор СПЗ-10 имеет допускаемое отклонение ±10, ±20% для номинальных сопротивлений до 330 кОм и ±20, ±30% — свыше 330 кОм. Минимальное сопротивление не более 10 Ом для резисторов с линейной функциональной характеристикой и номинальным сопротивлением до 3,3 кОм, 50 Ом для резисторов с линейной функциональной характеристикой и номинальным сопротивлением свыше 3,3 кОм, а также для резисторов с нелинейной функциональной характеристикой.

Начальный скачок сопротивления резисторов СПЗ-10 с линейной функциональной характеристикой без выключателя не превышает 7%, с выключателем — 10%, с нелинейной функциональной характеристикой — 1,5%. Переходное сопротивление контактов выключателя не более 0,04 Ом, угол поворота подвижной системы, необходимый для срабатывания выключателя, не превышает 50°.

Резистор СПЗ-12 имеет допускаемое отклонение ±20% для изделий с номинальным сопротивлением от 2,2 до 150 кОм и ±30% для изделий с номинальным сопротивлением от 220 кОм до 2,2 МОм. Резистор СПЗ-12а-1 выпускается с обратнологарифмической характеристикой типа В, номинальным сопротивлением 1 МОм и допускаемым отклонением ±10%. Сдвоенный резистор СПЗ-12г выпускается также с функциональными характеристиками типов Е и И, причем первый резистор имеет характеристику типа Е, а второй — типа И. Установленное сопротивление резистора с характеристикой типа Е не превышает 3 кОм при угле поворота подвижной системы менее 45—57% полного угла поворота, с характеристикой типа И — 3 кОм при угле поворота подвижной системы более 43—55% полного угла поворота.

Уровень собственных шумов не превышает 30 мкВ/В для резисторов с номинальным сопротивлением от 10 до 330 кОм и 50 мкВ/В для резисторов с номинальным сопротивлением от 470 кОм до 2,2 МОм. Для резисторов с номинальным сопротивлением менее 10 кОм уровень собственных шумов не нормируется.

Переходное сопротивление контактов выключателя не более 0,02 Ом, коммутируемый выключателем переменный ток при напряжении 220—250 В не более 1 А, при напряжении 120—127 В — не более 2 А, угол поворота подвижной системы, необходимый для срабатывания выключателя, составляет 80°.

Резистор СП3-14 с четырьмя дополнительными отводами. Сопротивление между выводами *1—4, 4—5, 5—6, 7—3* должно составлять 20% номинального сопротивления резистора с допускаемым отклонением не более ±30%. Минимальное сопротивление каждого из дополнительных отводов не более 200 Ом. Кратковременно резисторы СП3-14 могут эксплуатироваться при температуре до 125°С.

Резистор СП3-16 имеет пять конструктивных исполнений: три из них регулировочные резисторы, два — подстроечные со стопорением оси. Минимальное сопротивление резисторов с номинальным сопротивлением до 15 кОм не более 25 Ом, свыше 15 кОм не более 100 Ом. Уровень собственных шумов не более 10 мкВ/В для резисторов с номинальным сопротивлением до 150 кОм и 20 мкВ/В для резисторов с номинальным сопротивлением свыше 150 кОм.

Резистор СП3-17 имеет четыре конструктивных исполнения с допускаемым отклонением ±20% для резисторов с номинальным сопротивлением до 220 кОм и ±30% для резисторов с номинальным сопротивлением свыше 220 кОм. Минимальное сопротивление резисторов с линейной функциональной характеристикой не превышает следующих значений: 10 Ом для резисторов с номинальным сопротивлением до 2,2 кОм, 70 Ом — до 10 кОм, 100 Ом — до 22 кОм, 200 Ом — свыше 22 кОм. Электродвижущая сила собственных шумов резисторов не превышает значений, указанных в табл. 10.

Таблица 10

Пределы номинальных сопротивлений, кОм	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В, не более	
	резисторов с линейной функциональной характеристикой	резисторов с нелинейной функциональной характеристикой
До 47	5	5
От 47 до 220	10	10
От 220 до 470	15	20
Свыше 470	40	50

Резистор СП3-23 — регулировочный с прямолинейным перемещением подвижного контакта и ходом подвижной системы 60 и 28 мм. Конструктивное оформление резистора с ходом подвижной системы 60 мм показано на рис. 10. Регулирование сопротивления осуществляется прямолинейным перемещением ручки управления *1* в пазу корпуса *2*.

Резистор СП3-24 — многооборотный подстроечный резистор с прямолинейным перемещением подвижного контакта. Перемещение подвижной системы резистора от упора до упора осуществляется за 25 оборотов регулировочного винта.

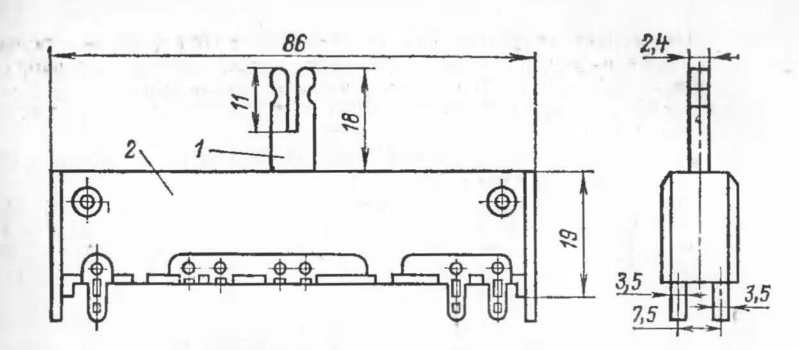


Рис. 10. Конструкция сдвоенного переменного резистора СП3-23 с ходом подвижной системы 60 мм.

Резистор СП3-33 имеет 17 вариантов конструктивного исполнения, представляющих собой разнообразные сочетания однотипных конструктивных элементов: одноэлементный резистор с линейной функциональной характеристикой, одноэлементный резистор с нелинейной функциональной характеристикой типов Б, В, С, выключатель и переключатель. Допускаемое отклонение сопротивления не превышает ±10, ±20% для резисторов с номинальным сопротивлением до 220 кОм и ±20, ±30% для резисторов с номинальным сопротивлением свыше 220 кОм. Значения сопротивлений дополнительных отводов приведены в табл. 11.

Таблица 11

Вид функциональной характеристики	Сопротивление дополнительных отводов, % полного сопротивления резисторов		
	вывод *4*	вывод *5*	вывод *6*
А	20—40	40—60	55—75
Б	—	85—99	—
В	1—8	5—15	20—40
С	—	40—60	—

Примечание. Для резисторов с выключателем значение сопротивления дополнительного отвода *4* не нормируется.

Минимальное сопротивление между выводами *1* и *2* резисторов при наименьшем угле поворота оси и между выводами *2* и *3* при наибольшем угле поворота оси не должно превышать значений, указанных в табл. 12.

Минимальное сопротивление дополнительных отводов не должно превышать следующих значений: 50 Ом для резисторов с номинальным сопротивлением до 10 кОм; 2% полного сопротивления отвода для резисторов с номинальным сопротивлением от 10 до 22 кОм; 1% полного сопротивления отвода для резисторов с номинальным сопротивлением свыше 22 кОм.

Таблица 12

Пределы номинальных сопротивлений	Минимальное сопротивление, Ом, не более							
	резисторов с характеристикой типа А		резисторов с характеристикой типа Б		резисторов с характеристикой типа В		резисторов с характеристикой типа С	
	между выводами 1—2	между выводами 2—3	между выводами 1—2	между выводами 2—3	между выводами 1—2	между выводами 2—3	между выводами 1—2	между выводами 2—3
От 100 Ом до 150 Ом	11	11	—	—	—	—	—	—
От 220 Ом до 1 кОм	25	25	25	22	22	25	22	22
От 1,5 кОм до 10 кОм	30	30	30	25	25	30	25	25
От 15 кОм до 100 кОм	50	50	50	25	25	50	25	25
Свыше 100 кОм	200	200	200	50	50	200	50	50

Начальный скачок сопротивления резисторов СПЗ-33 не превышает значений, указанных в табл. 13.

Таблица 13

Вид функциональной характеристики	Пределы номинальных сопротивлений	Начальный скачок сопротивления, %, от полного сопротивления, не более
А	От 100 Ом до 330 Ом Свыше 330 Ом до 1 кОм Свыше 1 кОм	15 10 5
Б, В	От 1 кОм до 3,3 кОм Свыше 3,3 кОм до 6,8 кОм Свыше 6,8 кОм до 33 кОм Свыше 33 кОм	2,5 1,0 0,5 0,1
С	От 1 кОм до 3,3 кОм Свыше 3,3 кОм	2,5 1,0

Для многоэлементных резисторов СПЗ-33 указывается также разбаланс установленного сопротивления. Для резисторов с функциональными характеристиками вида А и С отношение установленного сопротивления к полному сопротивлению одного резистора не более чем в 1,25 раза превышает соответствующее отношение другого резистора (в диапазоне изменения установленного сопротивления от 10 до 90% полного сопротивления резистора). Разбаланс сопротивлений резисторов с функциональной характеристикой вида Б между выводами *2* и *3* и с функциональной характеристикой вида В между выводами *1* и *2* указаны в табл. 14.

Таблица 14

Отношение установленного сопротивления к полному сопротивлению резистора, %	Разбаланс, дБ, не более
Менее 1	Требований нет
1—3	4
3—10	3
10—100	2

Разбаланс сопротивления счетверенных резисторов на одной оси измеряется поочередно между первым и вторым, первым и третьим, первым и четвертым резисторами, считая со стороны оси, а резисторов с концентрическими осями — между первым и вторым и третьим и четвертым резисторами.

ТКС резисторов с номинальным сопротивлением до 100 кОм не более $10\cdot10^{-4}$ $К^{-1}$, резисторов с номинальным сопротивлением свыше 100 кОм — не более $15\cdot10^{-4}$ $К^{-1}$.

Угол поворота подвижной системы, необходимый для срабатывания выключателя, не превышает 80°; переходное сопротивление контактов выключателя не более 0,06 Ом; переходное сопротивление контактов переключателя не более 5 Ом.

Наряду с пленочными лакосажевыми переменными резисторами отечественной промышленностью выпускаются переменные объемные резисторы СП4-1—СП4-4 с резистивным элементом на основе проводящих пластмасс. Основные параметры и характеристики резисторов СП4 приведены в табл. 3 и 4. Высокоомные подстроечные резисторы СП4-4 выполняются с дополнительным отводом, сопротивление которого составляет 50±10% полного сопротивления. Минимальное сопротивление дополнительного отвода не более 100 кОм.

4. ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ С НЕОРГАНИЧЕСКИМ СВЯЗУЮЩИМ КОМПОНЕНТОМ

Резисторы на основе композиций с неорганическим связующим компонентом применяют преимущественно в тех случаях, когда к переменному резистору предъявляются повышенные требования термостойкости, перегрузочной способности, термостабильности. Применение композиций на неорганической основе позволяет удовлет-

ворить этим требованиям и создавать переменные резисторы с более высокими удельными нагрузками, т. е. в меньших габаритах обеспечить рассеяние той же номинальной мощности, что и у лакосажевых переменных резисторов.

Широкое применение в производстве отечественных переменных резисторов получили композиции из стеклоэмали с сажей. На основе этих композиций разработаны переменные резисторы СПО, обладающие повышенной термостойкостью.

Эти резисторы имеют резистивный элемент объемного типа, запрессованный в керамическое основание. Для этого керамические основания резисторов выполняются с подковообразной канавкой, которая служит для создания в ней объемного токопроводящего слоя путем горячего прессования композиционного пресспорошка.

В состав порошка входит боросиликатное стекло, сажа и электрокорунд в определенных соотношениях. Для обеспечения требуемой плавности функциональной характеристики и подгонки сопротивления резистора к заданному номинальному сопротивлению после прессования производится шлифовка поверхности резистивного элемента.

Применение в конструкции резисторов СПО неорганических материалов обеспечивает им высокую термо- и влагостойкость. По сравнению с резисторами пленочного типа резисторы СПО имеют значительную меньшую плотность тока в резистивном элементе и значительно лучшие условия рассеяния выделяющейся мощности. Основные параметры резисторов СПО приведены в табл. 15 и 16.

Объемным резисторам СПО присущи недостатки, характерные для композиционных резисторов, а именно сравнительно большая зависимость сопротивления от приложенного напряжения, мощности, а также значительный уровень собственных шумов. Сопротивление резистора СПО заметно изменяется с увеличением частоты вследствие поверхностного эффекта, заметно проявляющегося при большом сечении резистивного элемента. Отдельные образцы объемных резисторов СПО имеют недостаточную плавность функциональной характеристики, что связано с неравномерным распределением проводящего компонента на поверхности элемента.

Улучшенными параметрами обладают переменные керметные резисторы. Первые керметные композиции — композиции стекла с серебром и палладием разработаны в 1956—1958 гг. В последующие годы круг этих материалов значительно расширился. Получены композиции, в которых вместо дорогостоящих палладия и серебра введены хром, молибден, окись индия, двуокись олова и др.

Керметные композиции обладают комплексом весьма ценных электрофизических свойств, обусловивших широкое их использование в технологии производства резисторов. Эти композиции устойчивы при воздействии высоких температур, влаги, коррозирующей среды, износоустойчивы, допускают точную юстировку сопротивления шлифованием или ультразвуковой обработкой. Износоустойчивость керметных резисторов достигает 10^6 циклов.

По стоимости композиционные резисторы на неорганической связке в настоящее время дороже резисторов, выполняемых из композиций с органическим связующим компонентом, и поэтому используются в электронных устройствах, предназначенных для работы в тяжелых эксплуатационных условиях.

Основные параметры и характеристики керметных переменных резисторов СП3-18—СП3-31 приведены в табл. 15 и 16.

Таблица 15

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Размеры, мм	Механический угол поворота подвижной системы, град	Основное назначение (тип монтажа или вид аппаратуры использования)
СПО-0,15	Переменный регулировочный экранированный	∅9,8×9,25	260	Для объемного монтажа
СПО-0,5	То же	∅16,5×12,9		То же
СПО-1	» »	∅21,5×15,5		» »
СПО-2	» »	∅28,5×19,3		» »
СП3-18	Переменный регулировочный малогабаритный	∅8,5×3,5	255	Для печатного монтажа
СП3-19а	Подстроечный малогабаритный экранированный	∅6,5×4	280	Для печатного монтажа, установка параллельно плате
СП3-19б	То же	9,0×7,5×6,5		Для печатного монтажа, установка перпендикулярно плате
СП3-22а	Переменный подстроечный неэкранированный	9,5×11×3,5	260	Для печатного монтажа, установка перпендикулярно плате
СП3-22б	То же	9,5×11×3,5	260	Для печатного монтажа, установка параллельно плате
СП3-22в	Переменный подстроечный неэкранированный без среднего вывода	9,5×11×3,5	260	Для печатного монтажа, установка перпендикулярно плате
СП3-28	Подстроечный	4,5×4,5×1,5		Для печатного монтажа и в составе микросхем
СП3-31	Переменный регулировочный экранированный	∅12×15 ∅16×15 ∅21×19	230 245 255	Для объемного монтажа

Таблица 16

Тип резистора	Пределы $R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	P при $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	ТКС, 10^{-4} K^{-1}, не более	Интервал рабочих температур, °С	Э. д. с. собственных шумов, мкВ/В, не более	$R_{мин}$, Ом, не более	$R_{н\text{-}с}$, %, не более	Напряжение шумов перемещения, мВ, не более	Гарантируемое количество циклов
СПО-0,15	100 Ом—4,7 МОм	±20; ±30	0,15	0,06	150	±15; ±20	—60÷+125	45	500	15	—	1000
СПО-0,5	100 Ом—4,7 МОм	±20; ±30	0,5	0,2	250	±15; ±20	—60÷+125	45	500	12	—	1000
СПО-1	47 Ом—4,7 МОм	±20; ±30	1	0,4	350	±15; ±20	—60÷+125	45	500	10	—	10 000
СПО-2	47 Ом—4,7 МОм	±20; ±30	2	0,8	600	±15; ±20	—60÷+125	45	500	10	—	10 000
СП3-18	3,3 кОм—47 кОм	±20	0,05	0,03	30	±20	—10÷±55	10	25,50	7	—	12 500
СП3-19	10 Ом—1 МОм	±10; ±20	0,5	0,05	150	±10; ±20	—40÷+85	20	50	15	—	500
СП3-22	100 Ом—1 МОм	±20	0,1	0,03	150	±10; ±20	—40÷+70	5—40	10—100	10; 20	—	500
СП3-28	10 Ом—100 кОм	±10; ±20	0,125	0,056	50	±5	—60÷+125	5	2	20	—	200
СП3-31	100 кОм—10 МОм	±10; ±20	0,25; 0,5; 1	0,05; 0,1; 0,2	200; 350; 500	±20	—60÷+125			15	50	25 000

Примечание. Указанные в таблице типы переменных резисторов выпускаются с линейной функциональной характеристикой.

5. МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫЕ И МЕТАЛЛООКИСНЫЕ ТОНКОСЛОЙНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Металлопленочные и металлоокисные резисторы имеют расширенный в область низких значений диапазон номинальных сопротивлений. Токопроводящим слоем в этих резисторах является пленка металла или полупроводниковой двуокиси олова. В металлоокисных резисторах СП2-1, СП2-2 используются пленки двуокиси олова, легированные сурьмой, а также окисные пленки более сложного состава, содержащие окислы олова, кремния и сурьмы. В отечественных конструкциях металлопленочных резисторов используются токопроводящие слои на основе пленок кадмия (резисторы СП2-3) и хрома (резисторы СП2-5).

Металлические и металлоокисные токопроводящие слои резисторов (за исключением резисторов СП2-3) получают термическим разложением соответствующих химических соединений, в результате которого на поверхности керамических изоляционных оснований образуется тонкий металлический или металлоокисный слой. Изменяя состав исходных химических соединений, режимы их разложения и применяя специальные трафареты, получают слои с различным удельным поверхностным сопротивлением и различной конфигурации. Применяемые в таких резисторах материалы (керамика, металлические пленки, металлоокисные слои и др.) обеспечивают им высокую термостойкость.

Особенность способа изготовления металлопленочных переменных резисторов СП2-3 состоит в том, что предварительно изоляционное основание из гетинакса покрывают тонким слоем металла или сплава, а затем защитным слоем лакосажевой композиции. Проводящая пленка металла наносится на изоляционное основание катодным распылением или термическим испарением в вакууме. Комплекс двух проводящих слоев — металла и композиции—позволяет получить металлопленочный резистор с целым рядом положительных особенностей. Проводящий слой, состоящий из последовательно нанесенных пленок металла и композиции, механически прочен, износоустойчив. При этом основные параметры резистивного элемента ($R_н$, ТКС, э. д. с. шумов) в основном определяются свойствами пленки металла. Так, при использовании в качестве проводящего слоя пленок кадмия получают переменные резисторы низкой стоимости с номинальным сопротивлением 22—330 Ом.

В последние годы разработаны новые типы металлопленочных и металлоокисных переменных резисторов. Основные параметры металлоокисных и металлопленочных переменных резисторов приведены в табл. 17 и 18.

Металлоокисные переменные резисторы СП2-1 и СП2-2 имеют идентичные электрические параметры и различаются интервалом рабочих температур. Рабочий диапазон температур резисторов СП2-2 составляет —60÷+125° С, а рассеяние номинальной мощности допускается при температуре до 85°С. Резисторы СП2-1 могут эксплуатироваться при температурах окружающей среды до 200°С и допускают рассеяние номинальной мощности при температуре до 125°С. Однако их гарантийная наработка понижена до 2000 ч.

Температурный коэффициент сопротивления резисторов СП2-1 в интервале температур от —60 до +200° С у резисторов с номи-

нальным сопротивлением до 47 кОм лежит в пределах $(-20\div+10)\cdot10^{-4}\ K^{-1}$, у резисторов с номинальным сопротивлением более 47 кОм $(-25\div+10)\cdot10^{-4}\ K^{-1}$.

ТКС резисторов СП2-2 в интервале температур от —60 до +125°С не более $\pm10\cdot10^{-4}\ K^{-1}$ для образцов с номинальным сопротивлением до 1 кОм и не более $\pm20\cdot10^{-4}\ K^{-1}$ — свыше 1 кОм.

Минимальное сопротивление резисторов с номинальным сопротивлением до 100 Ом не более 2 Ом$+0,04\ R_н$. При номинальном сопротивлении свыше 100 Ом значение минимального сопротивления не превышает 10 Ом.

Таблица 17

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Размеры, мм	Механический угол поворота подвижной системы, град	Основное назначение (тип монтажа или аппаратуры использования)
СП2-1а-0,5	Регулировочный экранированный	⌀16,5×12,7	245	Для объемного монтажа
СП2-1а-1	То же	⌀21,5×15,4	250	То же
СП2-1б-0,5	Подстроечный экранированный со стопорением оси	⌀16,5×12,7	245	» »
СП2-1б-1	То же	⌀21,5×15,4	250	» »
СП2-2-0,5	Регулировочный экранированный	⌀16,5×12,7	245	» »
СП2-2-1	То же	⌀21,5×15,4	250	» »
СП2-2а-0,5	Подстроечный экранированный со стопорением оси	⌀16,5×12,7	245	» »
СП2-2а-1	То же	⌀21,5×15,4	250	» »
СП2-3а	Подстроечный экранированный	⌀16×12,5	255	Для объемного монтажа, крепление за втулку
СП2-3б	То же	⌀16×12,5	255	Для печатного монтажа, крепление с помощью скобы
СП2-5	Регулировочный экранированный	⌀12×15	230	Для объемного монтажа
		⌀16×15	245	То же
		⌀21×19	255	» »

Таблица 18

Тип резистора	Пределы $R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	P при $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	ТКС, $10^{-4}\cdot K^{-1}$, не более	Интервал рабочих температур, °С	Э.д.с. собственных шумов, мкВ/В, не более	$R_{мин}$, Ом, не более	$R_{н.с}$, %, не более	Напряжение шумов перемещения, мВ, не более	Гарантируемое количество циклов перемещения подвижной системы
СП-2-1а	47 Ом — 100 кОм	±20	0,5 1	0,125 0,25	120 170	±10; ±20	—60 ÷ +200	10	10	15	50	10 000
СП2-1б	47 Ом — 100 кОм	±20	0,5 1	0,125 0,25	120 170	10 20	—60 ÷ 200	10	10	15	50	1000
СП2-2	47 Ом — 100 кОм	±20	0,5 1	0,125 0,25	120 170	10 20	—60 ÷ 125	10	10	15	50	10 000
СП2-2а	47 Ом — 100 кОм	±20	0,5 1	0,125 0,25	120 170	10 20	—60 ÷ 125	10	10	15	50	1000
СП2-3	68 Ом — 330 Ом	±30	0,25	0,08		25	—40 ÷ +70		10	20		500
СП2-5	10 Ом — 100 кОм	±20	0,5 1	0,025 0,05 0,1	150 250 350	20	—60 ÷ +155	10	10	20		25 000

Примечание. Указанные в таблице типы переменных резисторов выпускаются с линейной функциональной характеристикой.

Начальный скачок сопротивления резисторов с номинальным значением до 100 Ом не более 15%, свыше 100 Ом не более 10%.

Металлопленочные подстроечные резисторы типа СП2-3 предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока радиовещательной и телевизионной аппаратуры. Типовая функциональная характеристика и зоны допуска на нее приведены на рис. 11.

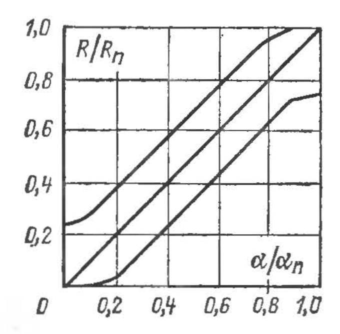


Рис. 11. Функциональная характеристика резистора СП2-3 и зоны допуска на нее.

6. ПРОВОЛОЧНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Проволочные резисторы обладают целым комплексом важных положительных особенностей, к которым можно отнести следующие: возможность изготовления резистора с малым допускаемым отклонением от номинального сопротивления; высокую стабильность параметров при воздействии различных внешних факторов (температуры, влажности и т. п); малое значение ТКС и уровня собственных шумов; высокие термостойкость и перегрузочную способность. Все эти положительные особенности переменных проволочных резисторов обеспечивают их широкое использование в электронной аппаратуре, к которой предъявляются повышенные требования по точности и стабильности электрических и эксплуатационных параметров.

В настоящее время промышленность выпускает широкую гамму переменных проволочных резисторов с различным конструктивным исполнением. Основным элементом конструкций переменных проволочных резисторов является резистивный элемент, состоящий из провода (изолированного или неизолированного), намотанного на изоляционный каркас. Подвижной контакт перемещается по предварительно зачищенному (при использовании изолированной проволоки) участку резистивного элемента таким образом, что он касается следующего витка прежде, чем сходит с предыдущего, чтобы не нарушалось контактирование.

Основные электрические параметры проволочного резистора обусловлены свойствами резистивных и контактных материалов, используемых в его конструкции.

Комплексу требований, предъявляемых к резистивным материалам проволочных резисторов, в наибольшей степени удовлетворяют специальные сплавы на основе никеля, хрома, меди, марганца, а также используемые в последние годы сплавы на основе благородных металлов. Эти резистивные сплавы используются в виде проволоки или микропровода диаметром от нескольких миллиметров до десяти микрон.

Подвижной контакт может выполняться совместно с пружиной из того же материала или в виде специальной накладки из другого материала, которая надежно крепится к пружине. В ряде конструкций подвижным контактом служит металл, наносимый на пружину в местах контактирования. В качестве материала подвижного контакта используют некоторые редкие и благородные металлы, а также сплавы на их основе.

Производство проволочных резисторов в значительной степени механизировано и автоматизировано, что позволило снизить их стоимость.

Среди переменных проволочных резисторов различают резисторы с прямолинейным и круговым перемещением подвижного контакта. Резисторы с прямолинейным перемещением подвижного контакта обычно подстроечные. Они размещаются либо в прямоугольном корпусе из термостойкого материала, либо в металлическом корпусе. Подстроечные резисторы выполняются также и с круговым перемещением подвижного контакта и выпускаются в квадратных корпусах. Для увеличения разрешающей способности резисторов перемещение подвижного контакта в ряде конструкций осуществляется с помощью передачи микрометрический винт — гайка или червяк — червячное колесо. Такие резисторы являются многооборотными.

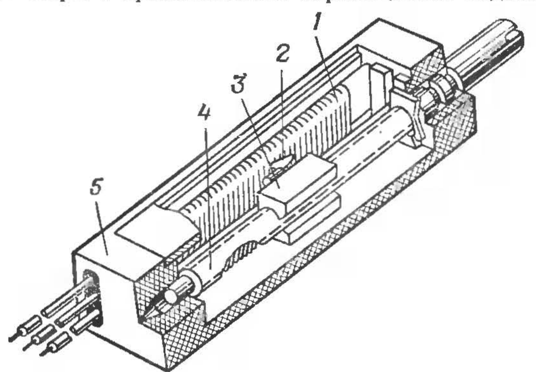


Рис. 12. Конструкция многооборотного подстроечного проволочного резистора.

1 — резистивный элемент; *2* — подвижной контакт; *3* — разрезная гайка; *4* — микрометрический винт; *5* — корпус.

К подстроечным резисторам с прямолинейным перемещением подвижного контакта относятся резисторы СП5-1, СП5-4, СП5-15, используемые в схемах с навесным монтажом, и СП5-14, используемые в схеме с печатным монтажом. Резистор СП5-1 (рис. 12) имеет плоский резистивный элемент *1*, по боковой поверхности которого перемещается подвижной контакт *2*, закрепленный на разрезной гайке *3* из изоляционного материала. Гайка перемещается с помощью микрометрического винта *4*. Резистивный элемент и подвижная система собираются в корпусе *5*, который затем закрывается крышкой. При вращении микрометрического винта происходит перемещение подвижного контакта из одного крайнего положения в другое за 45—50 или 70—75 оборотов винта в зависимости от типа резистора.

Особенностью резистора СП5-4 является то, что по боковым поверхностям резистивного элемента перемещаются два подвижных

Таблица 19

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Размеры, мм	Основное назначение (тип монтажа или аппаратура использования)
СП5-1	Подстроечный многооборотный с прямолинейным перемещением подвижного контакта	35×8,5××6,5	Для навесного монтажа
СП5-2	То же с круговым перемещением скользящего контакта	13×13××7,9	Для печатного монтажа
СП5-3	То же	13×13××5,4	Для навесного монтажа
СП5-4	Подстроечный многооборотный с прямолинейным перемещением подвижного контакта	35×14××7,0	То же
СП5-14	То же	34,5××10,5××7,0	Для печатного монтажа
СП5-15	» »	34,5××9,0×7,0	Для навесного монтажа
СП5-16ТА, СП5-16ТБ	Подстроечный однооборотный	⌀11××9,7; ⌀11×10 ⌀13××9,7; ⌀13×13 ⌀16,5××9,7; ⌀16××5,10	Для печатного и навесного монтажа
СП5-17	Подстроечный	—	Для печатного монтажа
СП5-18	»	—	То же
СП5-20	Подстроечный однооборотный	—	» »
СП5-22	Подстроечный многооборотный с прямолинейным перемещением подвижного контакта	—	» »
СП5-24	Подстроечный многооборотный с прямолинейным перемещением подвижного контакта	—	» »

Продолжение табл. 19

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Размеры, мм	Основное назначение (тип монтажа или аппаратура использования)
СП5-28А	Подстроечный однооборотный с ручкой управления	⌀20×26	Для печатного монтажа
СП5-28Б	Подстроечный однооборотный, ось выведена под шлиц	⌀20×16	То же
СП5-29	Регулировочный	—	Для навесного монтажа
СП5-30	»	—	То же
СП5-37	»	—	» »
ППБ	»	⌀18×12 ⌀20×16 ⌀25×22 ⌀35×26 ⌀35×44 ⌀48×67	» »
ППЗ	Регулировочный	⌀23×15 ⌀23××28,6	Для навесного монтажа
РП	То же	⌀44×35 ⌀86×43	Для навесного монтажа

контакта, закрепленных на разрезных гайках. Регулировка сопротивления производится двумя микрометрическими винтами, что позволяет снимать с одного резистивного элемента два независимых электрических сигнала.

Подстроечные многооборотные резисторы с круговым перемещением подвижного контакта имеют резистивный элемент в виде каркаса из изолированного медного провода большого диаметра, свернутого в кольцо, на который намотан неизолированный провод. К концам резистивного элемента припаяны проводники из медного многожильного изолированного провода. Резистивный элемент вставлен в изолированный кожух, который укреплен в алюминиевом корпусе. Токосъемная втулка с припаянным к ней гибким выводом установлена в центре кожуха. Передача движения от червяка к подвижному контакту осуществляется червячным колесом, с которым связан подвижной контакт. Перемещение подвижного контакта из одного крайнего положения в другое осуществляется за 40—43 поворота червяка.

Конструкцию такого типа имеют проволочные переменные резисторы СП5-2, СП5-3.

Наряду с многооборотными выпускаются также однооборотные подстроечные проволочные резисторы СП5-16.

Основные параметры подстроечных проволочных резисторов приведены в табл. 19 и 20.

Таблица 20

Тип резистора	Пределы $R_н$	ΔR, %	$P_н$, Вт	$P_{при}$ $T_{макс}$, Вт	$U_{макс}$, В	Интервал рабочих температур, °С	$R_{мин}$, Ом, не более	Гарантируемое количество циклов перемещения подвижной системы
СП5-1	100 Ом — 10 кОм	±5	1	0,1	300	—60 ÷ +125	2% $R_н$	200
СП5-2	100 Ом — 47 кОм	±5; ±10	1	0,1	300	—60 ÷ +125	—	100
СП5-3	100 Ом — 47 кОм	±5; ±10	1	0,1	300	—60 ÷ ±125	—	100
СП5-4	100 Ом — 10 кОм	±5	1	0,1	300	—60 ÷ +125	2% $R_н$	200
СП5-14	10 Ом — 47 кОм	±10	1	0,1	220	—60 ÷ ±125	2% $R_н$	200
СП5-15	10 Ом — 47 кОм	±10	1	0,1	220	—60 ÷ +125	2% $R_н$	200
СП5-16	3,3 Ом — 22 кОм 3,3 Ом — 33 кОм 4,7 Ом — 47 кОм	±5; ±10 ±5; ±10 ±5; ±10	0,25 0,5 1	0,025 0,05 0,1	— — —	—60 ÷ +125 —60 ÷ +125 —60 ÷ +125	— — —	200 200 200
СП5-17 СП5-18	4,7 Ом — 1 кОм	±5	0,5	0,05	—	—60 ÷ +125	—	—
СП5-20	4,7 Ом — 22 кОм	±5; ±10	2	0,2	—	—60 ÷ +125	—	—
СП5-22 СП5-24	4,7 Ом — 22 кОм	±5; ±10	1 2	0,1 0,2	—	—60 ÷ +125	—	—
СП5-28	33—510 Ок	±10	1	0,1	—	—40 ÷ +100	—	250
СП5-29	4,7 Ом — 22 кОм 4,7 Ом — 22 кОм 4,7 Ом — 22 кОм	±5; ±10 ±5; ±10 ±5; ±10	1 2 3	0,1 0,2 0,3	—	—60 ÷ +155	—	—
СП5-30	2,2 Ом — 47 кОм	±5; ±10	15 25 50	1,5 2,5 5	—	—60 ÷ 125	—	—
СП3-37	47 Ом — 3,3 кОм	±10; ±20	75	7,5		—60 ÷ +100	—	—
ППБ	100 Ом — 10 кОм 100 Ом — 10 кОм 4,7 Ом — 22 кОм 2,2 Ом — 47 кОм 2,2 Ом — 47 кОм 2,2 Ом — 47 кОм	±5; ±10	1 2 3 15 25 50	0,05 0,10 0,15 7,5 12,5 25	300 400 400 500 500 500	—60 ÷ +155	0,1	5000; 1000
ППЗ	4,7 Ом — 20 кОм	±5; ±10	3	0,6	—	—60 ÷ +155	—	—
РП	18 Ом — 3 кОм	±10	25 80	2,5 8	—	—60 ÷ +85	—	—

Примечание. Указанные в таблице типы переменных резисторов выпускаются с линейной функциональной характеристикой.

Подстроечные резисторы СП5-1, СП5-2, СП5-3, СП5-4 предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока частотой до 10 кГц.

Резисторы СП5-14, СП5-15 предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока частотой до 1 кГц. Отклонение действительной функциональной характеристики от линейной не превышает ±5% для резисторов с номинальным сопротивлением от 10 Ом до 1 кОм и ±3% для резисторов с номинальным сопротивлением свыше 1 кОм. Температурный коэффициент сопротивления резисторов СП5-14, СП5-15 различен для различных групп номиналов (табл. 21).

Таблица 21

Пределы номинальных сопротивлений	ТКС, $10^{-4}\cdot K^{-1}$
10—68 Ом	+5
100—1500 Ом	+0,4
2,2—22 кОм	±0,5
33; 47 кОм	±5

Резисторы СП5-1TI, СП5-4TI, СП5-22ТА и СП5-24ТА могут эксплуатироваться в условиях сухого и влажного тропического климата, гарантийная наработка резисторов 10 000 ч, разрешающая способность 0,1—2%.

Для регулировки напряжении и тока в электрических цепях электронной аппаратуры используют регулировочные проволочные резисторы РП, ППБ и ПП3-40—ПП3-47, СП5-29, СП5-30, СП5-37. В конструкциях этих резисторов используются термостойкие материалы, что позволяет эксплуатировать их при высоких температурах и допускает рассеяние большой мощности.

Так, резистивный элемент резистора РП выполнен в виде керамического кольца, на которое намотан нихромовый провод. С помощью цементирующей массы элемент закрепляют на керамическом основании, на котором устанавливают и регулировочную ось с подвижным контактом. Резисторы РП имеют интервал рабочих температур от —60 до +90°С. Максимально допустимая температура нагрева резисторов РП составляет +300°С, так как при нагревании выше данной температуры цементирующая масса, используемая в конструкции в качестве клея, теряет свои механические свойства.

Проволочные переменные бескаркасные резисторы ППБ более просты по конструкции в сравнении с резисторами РП; в них использован резистивный бескаркасный элемент, который механически закреплен на керамическом корпусе резистора.

Регулировочные резисторы ПП3-40—ПП3-47 выпускаются в одинарном (ПП3-40, ПП3-41, ПП3-43) и сдвоенном (ПП3-44, ПП3-45, ПП3-47) исполнениях. Резистивный элемент резисторов представляет собой свернутую в кольцо стеклотекстолитовую пластину, на которую намотан провод из нихрома или константана.

Переменные проволочные бескаркасные резисторы ППБ предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока частотой 50 Гц. В зависимости от варианта исполнения конца оси резисторы изготавливаются шести видов. Эти варианты обозначаются буквами А, Б, В, Г, Д, Е. Износоустойчивость резисторов с исполнением оси А и Г составляет 5000 циклов, с исполнением конца оси Б, В, Д, Е — 1000 циклов.

Резисторы СП5-30 номинальной мощностью 15, 25 и 30 Вт, аналогичные резисторам ППБ по основным техническим параметрам, отличаются повышенной устойчивостью к механическим нагрузкам (СП5-30-I), высокой износоустойчивостью (СП5-30-II) и наличием тропикоустойчивого варианта исполнения.

Из регулировочных резисторов наиболее широко распространены резисторы ПП3-40—ПП3-47 номинальной мощностью 3 Вт, которые включают в себя одинарные и сдвоенные резисторы трех вариантов в зависимости от длины оси и наличия стопорения. Резисторы ПП3-40—ПП3-47 могут эксплуатироваться в интервале рабочих температур от —60 до +155°С и нагрузке номинальной мощностью при температуре 100°С (одинарные) и 70°С (сдвоенные резисторы). Гарантийная наработка резисторов 1000 ч; при снижении электрической нагрузки до 1,5 Вт и окружающей температуре не выше 70°С допускается эксплуатация резисторов ПП3-40—ПП3-47 в течение 5000 ч.

Основные параметры проволочных регулировочных резисторов приведены в табл. 19 и 20.

7. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЗИСТОРЫ

В качестве элементов с регулируемым сопротивлением наряду с рассмотренными переменными резисторами могут быть использованы отдельные классы полупроводниковых приборов, сопротивление которых может изменяться в зависимости от значения управляющего электрического тока или напряжения. Отличительной особенностью таких полупроводниковых приборов, используемых в качестве переменных резисторов, является отсутствие подвижного контакта — обязательного конструктивного элемента обычного переменного резистора. Как следствие отсутствия подвижного контакта полупроводниковые переменные резисторы имеют высокую разрешающую способность, высокую износоустойчивость, низкий уровень шумов регулирования.

Основными классами полупроводниковых приборов, которые могут быть использованы в качестве резисторов с регулируемым сопротивлением, являются терморезисторы косвенного подогрева, резистивные оптроны, магниторезисторы с управляющей магнитной цепью, отдельные типы биполярных транзисторов, а также полевые транзисторы с управляющим *p-n* переходом или с изолированным затвором. Условные графические обозначения перечисленных полупроводниковых приборов приведены на рис. 13.

Терморезистор косвенного подогрева состоит из терморезистивного элемента, существенно изменяющего свое сопротивление при изменении температуры, и электрически изолированного от него подогревателя, помещенных в откачанный или наполненный инертным газом баллон. Регулируя мощность, выделяющуюся в подогревателе, можно управлять температурой резистивного элемента и, следовательно, его электрическими характеристиками. Таким образом, терморезистор косвенного подогрева представляет собой две термически

связанные, но разделенные гальванически электрические цепи. Существует несколько конструктивных исполнений термоуправляемых переменных резисторов, однако общим является наличие в них двух электрически изолированных цепей — управляющей (цепь подогревателя) и управляемой (цепь терморезистивного элемента).

Наиболее широкое распространение получили терморезисторы, резистивный элемент которых выполнен на основе окисных полупро-

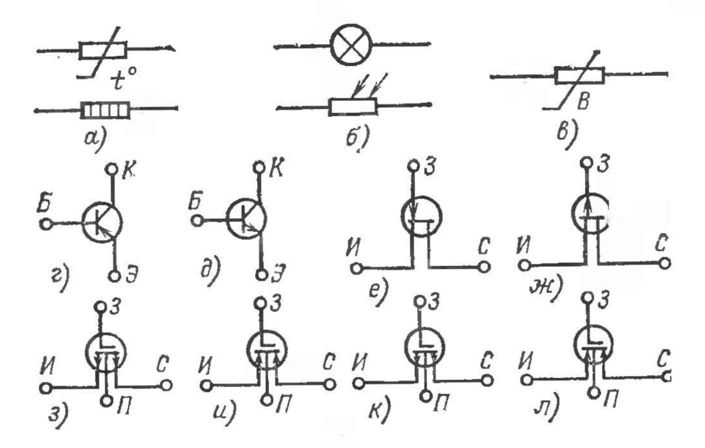


Рис. 13. Условные графические обозначения полупроводниковых приборов, используемых в качестве регулируемых сопротивлений.

а — терморезистор косвенного подогрева; *б* — резисторный оптрон; *в* — магниторезистор; *г* — *p-n-p* транзистор; *д* — *n-p-n* транзистор; *е* — полевой транзистор с управляющим *p-n* переходом и каналом *n*-типа; *ж* — полевой транзистор с управляющим *p-n* переходом и каналом *p*-типа; *з* — полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом *n*-типа; *и* — полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом *p*-типа; *к* — полевой транзистор с изолированным затвором и встроенным каналом *n*-типа; *л* — полевой транзистор с изолированным затвором и встроенным каналом *p*-типа; *Б* — база; *К* — коллектор; *Э* — эмиттер; *И* — исток; *З* — затвор; *С* — сток; *П* — подложка.

водниковых материалов и обладает отрицательным ТКС. Сопротивление таких резисторов плавно уменьшается при увеличении мощности $P_п$, выделяемой в подогревателе (рис. 14).

Как следует из вышесказанного, действие терморезистора косвенного подогрева основано на использовании тепловых процессов, носящих инерционный характер, что ведет к значительной инерционности регулирования сопротивления терморезистора. Эту инерционность характеризуют обычно тепловой постоянной времени, представляющей собой время, в течение которого перегрев терморезистивного элемента изменяется на 63% своего первоначального (при охлаждении) или конечного (при нагревании) установившегося значения. Для терморезисторов косвенного подогрева обычно указывают две постоянные времени, одна из которых τ_1 характеризует скорость установления теплового равновесия между терморезистивным элементом и окружающей терморезистор средой, а вторая τ_2 — между

терморезистивным элементом и подогревателем. Их отношение $M = \tau_1/\tau_2$ называют динамическим коэффициентом.

Необходимо отметить, что не вся мощность, выделяющаяся в подогревателе, идет на нагревание терморезистивного элемента. Часть этой мощности рассеивается в окружающее пространство, т. е. используется неэффективно. Эффективность работы подогревателя характеризуют коэффициентом тепловой связи. Чем ближе значение этого коэффициента к единице, тем полнее используется мощность, затрачиваемая на регулирование сопротивления.

Промышленностью выпускается широкий ассортимент полупроводниковых терморезисторов косвенного подогрева, имеющих разнообразное конструктивное оформление и выполняемых на основе различных материалов. Первыми отечественными терморезисторами косвенного подогрева являются терморезисторы ТКП. В настоящее время промышленностью выпускается четыре типа терморезисторов этой серии: ТКП-20, ТКП-20Б, ТКП-50, ТКП-300А. Буквы ТКП в обозначении изделия — краткое наименование изделия (терморезистор косвенного подогрева), а цифры указывают значение сопротивления терморезистивного элемента в омах при максимальной мощности, выделяемой в подогревателе.

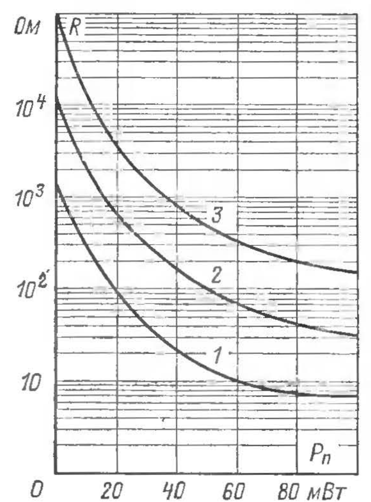


Рис. 14. Подогревные характеристики терморезисторов косвенного подогрева.

1 — СТЗ-21 с номинальным сопротивлением 1 кОм; *2* — СТ1-21 с номинальным сопротивлением 10 кОм; *3* — СТ1-21 с номинальным сопротивлением 100 кОм.

Терморезисторы ТКП-20, ТКП-20Б, ТКП-50 являются терморезисторами с внутренним подогревом терморезистивного элемента. У них резистивный элемент представляет собой трубку из полупроводникового материала диаметром 0,8 мм и длиной 1,6—1,8 мм, внутри которой расположен алундированный спиральный подогреватель. ТКП-300А — терморезистор с внешним подогревом терморезистивного элемента, выполненного в форме стержня из полупроводникового материала диаметром 0,4 мм, который помещен внутрь спирального подогревателя. Терморезисторы ТКП выпускаются в виде электронных ламп с нормальным цоколем диаметром 33 мм и высотой 68 мм.

Основные параметры терморезисторов ТКП приведены в табл. 22. Терморезисторы ТКП-20 и ТКП-20Б идентичны по основным электрическим параметрам. Различие заключается лишь в том, что для ТКП-20Б нормируется частотная характеристика. Отклонение частотной характеристики терморезистора ТКП-20Б на частоте до 8,5 МГц не более ±0,01 Нп (0,087 дБ).

В последние годы проведена модернизация терморезисторов ТКП. В настоящее время освоено производство терморезисторов

Таблица 22

Параметры терморезисторов	Типы терморезисторов		
	ТКП-20, ТКП-20Б, ТКПМ-20, ТКПМ-20Б	ТК-50, ТКПМ-50	ТКП-300А, ТКПМ-300А
Номинальное сопротивление (при 20±2° С), кОм	0,5	2,5	10
Допускаемое отклонение от номинального значения, %, не более	±10	±10	±10
Минимальное сопротивление (при максимальном токе подогрева), Ом	20	50	300
Максимальный ток подогрева, мА	40	35	20
Предельно допустимый ток подогрева [1], мА	50	49	25
Максимальная рабочая мощность подогревателя, мВт	180±40	160±40	20±4
Коэффициент тепловой связи (не менее)	0,5	0,5	—
Пробивное напряжение между терморезистивным элементом и подогревателем [2], В, не менее	150	150	50
Межэлектродная емкость, пФ, не более	6	6	—
Интервал рабочих температур, °С	—60÷ ÷+85	—60÷ ÷+85	—60÷ ÷+85
Срок службы, ч	5000	5000	5000

[1] Термоуправляемые переменные резисторы должны выдерживать предельно допустимый ток подогрева в течение 15 мин.
[2] При максимальном токе подогрева.

ТКПМ, которые по техническим и эксплуатационным параметрам не отличаются от терморезисторов ТКП, но имеют значительно меньшие размеры: диаметр 9,5 мм и длину без выводов 48 мм.

Наряду с перечисленными промышленностью выпускаются терморезисторы СТ1-21, СТ1-27, СТ3-21, СТ3-27, СТ3-31. Буквы СТ — краткое наименование изделия (сопротивление термоуправляемое), цифра, следующая после буквенного обозначения, является шифром используемого полупроводникового терморезистивного материала: 1 — кобальто-марганцевый материал, 3 — медно-кобальто-марганцевый материал; последующие две цифры — номер разработки.

Все терморезисторы СТ являются терморезисторами с внешним подогревом терморезистивного элемента. Терморезистивный элемент

этих терморезисторов выполняется в форме бусинки диаметром около 0,5 мм для резисторов СТ1-21, СТ3-21 и 0,3 мм для остальных типов резисторов этой серии. Терморезисторы СТ1-21, СТ3-21, СТ1-27, СТ3-27 выпускаются герметизированными в миниатюрных стеклянных баллонах диаметром 9,5 мм и длиной 48 мм. Особой миниатюрностью отличаются терморезисторы СТ3-31, герметизированные в металлостеклянном корпусе диаметром 10,9 мм и высотой 9,3 мм. Основные параметры терморезисторов СТ приведены в табл. 23. Терморезисторы косвенного подогрева используются при необходимости электрического разделения управляющей и управляемой цепей. Они применяются для дистанционного управления аппаратурой, в системах автоматического регулирования, для защиты схем от перегрузок, в качестве статических преобразователей мощности и в ряде других случаев. В широком диапазоне частот сопротивление терморезисторов косвенного подогрева иосит чисто активный характер, малая собственная емкость позволяет применять их в высокочастотных цепях.

Отметим, что сопротивление терморезистора косвенного подогрева изменяется не только за счет изменения выделяющейся в подогревателе мощности, но вследствие изменения температуры окружающей среды и изменения тока в управляемой цепи. Таким образом, терморезистор косвенного подогрева является прибором с тройным управлением. Это свойство используется в целом ряде устройств автоматики и телемеханики. В тех случаях, когда эти дополнительные изменения сопротивления являются нежелательными, их устраняют введением в цепь компенсирующих и корректирующих элементов.

Резистивный оптрон представляет собой конструктивный комплекс, использующий сочетание фоторезистора и миниатюрного источника электромагнитного излучения. Фоторезистор и источник электромагнитного излучения заключены в общий светонепроницаемый корпус и находятся в оптической связи друг с другом. Регулируя интенсивность светового потока, поступающего от источника на светочувствительную площадку фоторезистора, можно управлять сопротивлением резистивного оптрона и, следовательно, использовать его в качестве переменного резистора.

Резистивный оптрон выполняется в виде четырехполюсника с автономными выводами от источника света и фоторезистора. Такая конструкция позволяет получить хорошие развязывающие свойства резистора и малые значения паразитной емкости связи.

Промышленные типы резистивных оптронов ОЭП-1, ОЭП-2 (буквы означают наименование прибора: оптоэлектронный прибор, цифры — порядковый номер разработки) представляют собой конструктивный комплекс из фоторезистора и миниатюрной лампы накаливания, герметизированных в металлостеклянном корпусе диаметром 10,7 мм и высотой 8 мм с односторонним расположением выводов. В указанных оптронах использованы миниатюрные лампы инкаливания НСМ-9 и НСМ-25. На расстоянии 1 мм лампа НСМ-9 при токе (0,7÷0,8) $I_{ном}$ создает освещенность 10^3 лк, что позволяет обеспечить широкий диапазон регулирования сопротивления оптрона. Большой срок службы лампы накаливания обеспечивается режимом ее работы при пониженном напряжении накала. При этом срок службы возрастает пропорционально уменьшению напряжения накала по степенной функции с показателем степени 12—13. Для обеспечения долговечности оптрона ОЭП-1 не менее 5000 ч предель-

Таблица 23

Параметры терморезисторов	Типы терморезисторов				
	СТ1-21	СТ3-21	СТ1-27	СТ3-27	СТ3-31
Номинальное сопротивление при 20° С, кОм	6,8—150	0,68—1,5	33	2,2	0,68
Допускаемое отклонение от номинального значения, %, не более	±20	±20	±20	±20	±20
ТКС, $10^2 \cdot K^{-1}$ (при 20° С)	3,25—5,75	2,9—4,6	4,3—5,25	3,0—4,45	3,15—3,85
Минимальное сопротивление (при максимальном токе подогрева), Ом	40—400	7—15	150	30	20
Номинальная мощность рассеяния, мВт	60	60	70	70	90
Номинальное сопротивление подогревателя, Ом	100	100	100	100	100
Допускаемое отклонение сопротивления подогревателя, %, не более	±10	±10	±10	±10	±10
Максимальный ток в цепи подогревателя, мА	25	25	27	26	23,9—29,2
Коэффициент тепловой связи [1] не менее	0,8	0,8	0,8	0,5	0,8
Постоянная времени τ_2, с	15—40*	15—40*	4—6**	4—6**	4—6**
Динамический параметр M	200—400	200—400	200—400	100	100
Диапазон рабочих температур, °С	—60 ÷ +85	—60 ÷ +85	—60 ÷ +85	—60 ÷ +50	—60 ÷ +85
Срок службы, ч, не менее	5000	5000	5000	20 000	20 000
Срок хранения, лет	5	5	8	5	8

[1] Определяется как отношение мощностей прямого и косвенного подогрева, вызывающих разогрев терморезистивного элемента до +50° С.

* Время, в течение которого сопротивление терморезистивного элемента, равное 0,5 номинального увеличивается до 0,815 номинального после выключения тока в цепи подогревателя.

** Время, в течение которого сопротивление терморезистивного элемента изменяется на 63% разности установившихся значений при включении и выключении тока в цепи подогревателя.

ный режим по управляющей цепи установлен исходя из условия работы лампы в режиме 20%-ного недокала.

На рис. 15 приведены функциональная (зависимость сопротивления фоторезистора от тока лампы) и вольт-амперная характеристики резистивного оптрона ОЭП-1. Основные параметры оптронов ОЭП приведены в табл. 24.

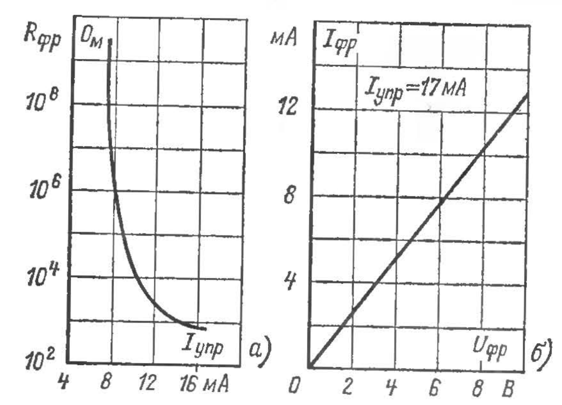


Рис. 15. Функциональная (*а*) и вольт-амперная (*б*) характеристики резистивного оптрона ОЭП-1.

$R_{фр}$ — сопротивление фоторезистора; $I_{упр}$ — ток лампы накаливания; $I_{фр}$ и $U_{фр}$ — ток и напряжение на фоторезисторе.

Таблица 24

Основные параметры	Тип прибора	
	ОЭП-1	ОЭП-2
Максимальное управляющее напряжение, В	5	5
Максимальный управляющий ток, мА	17	17
Максимальное сопротивление резистора, МОм	10^3	10^3
Минимальное сопротивление резистора, кОм	1	0,5
Максимальное рабочее напряжение, В	250	200
Максимальный рабочий ток, мА	5	5
Максимальная мощность рассеяния, Вт	0,05	0,05
Постоянная времени, мс, не более	100	100

Магниторезистор совместно с управляющей магнитной цепью также может выполнять функции переменного резистора. Действие магниторезистора основано на использовании эффекта Гаусса, который заключается в увеличении сопротивления полупроводника при внесении его в магнитное поле. Регулируя напряженность магнитного поля, можно управлять сопротивлением магниторезистора и другими его характеристиками.

Свойства магниторезистора как регулируемого элемента характеризуют двумя основными параметрами: сопротивлением в нор-

мальных климатических условиях при отсутствии управляющего магнитного поля, называемым номинальным сопротивлением, и отношением сопротивления магниторезистора в поперечном магнитном поле с нормированным значением индукции (обычно 0,5 или 1 Т) к номинальному значению, называемым магниторезистивным отношением. Параметры магниторезисторов приведены в табл. 25.

Таблица 25

Параметры	Тип магниторезистора	
	СМ1-1	СМ4-1
Номинальное сопротивление, Ом	33—210	47, 68
Допускаемое отклонение, %, не более	±20	±20
Магниторезистивное отношение:		
при индукции 0,5 Тл	—	≥3,3
при индукции 1 Тл	6,8; 10	—
ТКС *, $10^{-3}\cdot K^{-1}$, не более	—20	—5,5
Номинальная мощность, мВт	125	6

* Значение ТКС при отсутствии управляющего магнитного поля.

Основной характеристикой магниторезистора является зависимость его сопротивления от индукции управляющего магнитного поля. Эта зависимость, снятая при разных значениях температуры, приведена на рис. 16. В качестве источника магнитного поля для управления сопротивлением магниторезистора может использоваться постоянный магнит или электромагнит.

Функции регулируемого сопротивления может выполнять также биполярный транзистор при включении его по схеме с общим эмиттером при работе на начальном участке выходных коллекторных характеристик. Для примера на рис. 17, *а* показан начальный участок семейства выходных характеристик транзистора МП16Б. При малом напряжении на коллекторе $U_{кэ}$ угол наклона характеристики зависит от управляющего тока базы $I_Б$. Котангенс этого угла определяет величину сопротивления $R_{кэ}$ участка коллектор—эмиттер в линейной области выходной характеристики. С увеличением тока базы угол наклона увеличивается и сопротивление падает. Экспери-

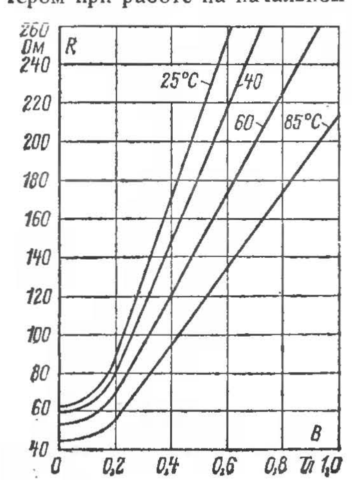


Рис. 16. Зависимость сопротивления магниторезистора СМ4-1 от индукции управляющего магнитного поля при различных значениях температуры.

ментально снятая зависимость сопротивления участка коллектор — эмиттер транзистора МП16Б приведена на рис. 17, *б*.

Следует, однако, отметить, что даже на начальном участке выходные характеристики транзистора имеют неудовлетворительную линейность. Кроме того, коллекторные характеристики резко асимметричны относительно начала координат, т. е. при изменении полярности напряжения на коллекторе сопротивление транзистора резко изменяется. Отмеченные особенности несколько ограничивают использование биполярных транзисторов в качестве управляемых резисторов.

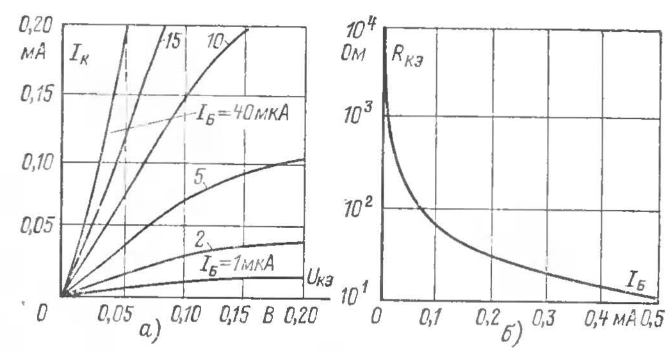


Рис. 17. Начальный участок семейства коллекторных характеристик (*а*) и зависимость сопротивления участка коллектор — эмиттер от тока базы (*б*) транзистора МП16Б.

Наиболее широкое *применение в качестве регулируемых* напряжением *сопротивлений находят полевые транзисторы.* Типичное семейство вольтамперных характеристик полевого транзистора при различных напряжениях на затворе показано на рис. 18. На приведенном семействе характеристик можно выделить три области: линейная (омическая) область *I*, где ток стока $I_С$ пропорционален напряжению $U_{СИ}$; область насыщения *II*, где ток слабо зависит от напряжения; область пробоя *III*, где ток резко возрастает при малых изменениях напряжения. Область *I* является областью работы прибора в режиме линейного переменного сопротивления. Полевые транзисторы, работающие на этом участке характеристики, можно рассматривать как бесконтактные переменные резисторы, управляемые электрическим напряжением $U_{ЗИ}$. Работа таких резисторов основана на модуляции сопротивления канала поперечным электрическим полем.

Полевые транзисторы обладают высоким входным сопротивлением — сопротивлением между выводами затвора и истока. Его величина составляет 10^7—10^9 Ом для транзисторов с управляющим *p-n* переходом и 10^{10}—10^{14} Ом для транзисторов с изолированным затвором. Вследствие высоких значений входного сопротивления токи в управляющей цепи такого резистора настолько малы, что управление сопротивлением выходной цепи (цепи канала) осуществляется входным напряжением (напряжением между выводами затвора и истока) практически без затраты мощности на управление.

При относительно малых стоковых напряжениях (порядка $|U_{СИ}| \leqslant \left|\frac{U_{СИ\ нас}}{2}\right|$) открытые каналы полевых транзисторов ведут себя практически как линейные резисторы, проводимость которых зависит от напряжения на затворе. При смене полярности стокового напряжения линейность сопротивления не нарушается, но на величину обратного напряжения стока накладывается некоторое дополнительное условие. Для полевого транзистора с управляющим *p-n* переходом необходимо, чтобы $|U_{СИ}| \leqslant |U_{ЗИ}|$, иначе при воздействии обратного стокового напряжения участок управляющего *p-n* перехода возле стока окажется открытым и в стоковой цепи потечет значительный прямой ток затвора, нарушающий линейность резистора. Для полевых транзисторов, у которых подложка соединена с истоком, обратное стоковое напряжение не должно превышать 0,5 В. В противном случае через открывающийся *p-n* переход сток—подложка начинает протекать значительный прямой ток этого перехода, нарушающий линейность резистора.

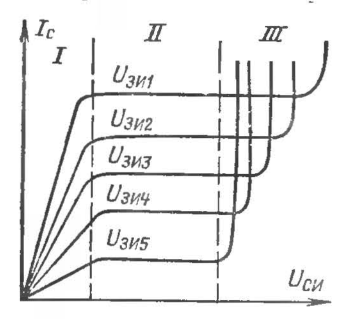


Рис. 18. Семейство стоковых характеристик полевого транзистора при различных напряжениях между затвором и истоком.

На рис. 19, *а* показаны вольт-амперные характеристики транзистора КП102Л при различных значениях напряжении $U_{ЗИ}$. Функциональные характеристики полевых транзисторов КП102Е — КП102Л, используемых в качестве переменных резисторов, приведены на рис. 19, *б*.

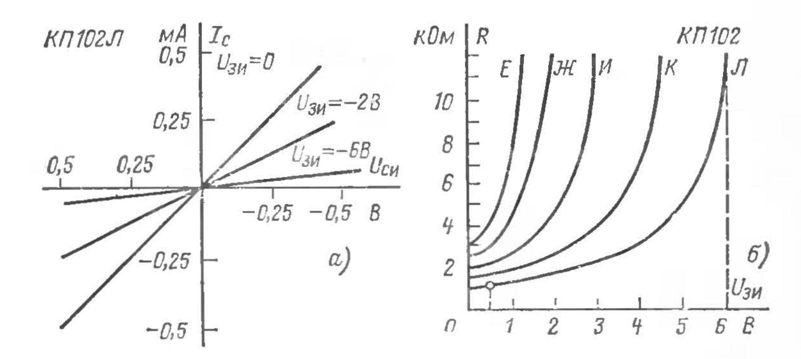


Рис. 19. Начальный участок стоковых характеристик (*а*) и зависимость сопротивления канала от напряжения на затворе (*б*) для полевого транзистора КП102 (группы Е, Ж, И, К, Л).

8. ВЫБОР РЕЗИСТОРОВ И РЕЖИМОВ ИХ РАБОТЫ

Выбор типа и вида переменного резистора определяется его назначением в схеме и электрической нагрузкой, при которой резистор должен работать. В реальных схемах переменные резисторы используются в потенциометрическом режиме (рис. 20, *а—в*) — для регулировки напряжении и в реостатном режиме (рис. 20, *г, д*) — для регулировки тока.

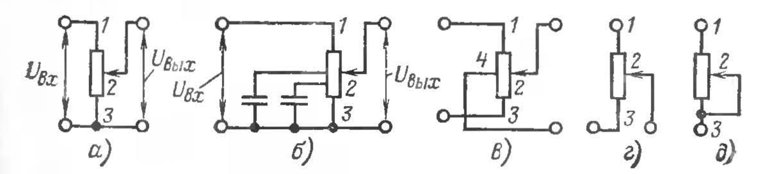


Рис. 20. Схемы включения переменных резисторов.

а, б, в — потенциометрические; *г, д* — реостатные.

При использовании переменного резистора в регуляторе громкости его включают по потенциометрической схеме на входе усилителя низкой частоты или после первых его каскадов. При включении резистора на входе усилителя устраняется перегрузка первого каскада слишком сильным сигналом, которая может привести к появлению больших нелинейных искажений. Однако в этом случае ухудшается отношение сигнал/шум. При включении переменного резистора после первых каскадов ослабляется воздействие внешних полей, так как на регулятор подается большая амплитуда полезного сигнала. Первый способ включения применяется при больших уровнях входного сигнала, а второй — при малых.

Для обеспечения плавного регулирования громкости применяют переменные резисторы с обратнологарифмической функциональной характеристикой (характеристика вида В) и большим диапазоном регулировании. Диапазон регулирования сигнала переменным резистором определяется отношением максимального выходного напряжении к минимальному, которое можно снять с выводов резистивного элемента *1* и подвижного контакта *2*. Минимальное выходное напряжение, снимаемое с переменного резистора, зависит от значения начального скачка сопротивления. Следовательно, диапазон регулирования переменного резистора, выраженный в децибелах, можно найти из соотношения

$$S = 20 \lg \frac{R_п - R_{н.с}}{R_{н.с}},$$

где $R_п$ — полное сопротивление резистора; $R_{н.с}$ — сопротивление начального скачка.

Как следует из приведенного соотношения, для обеспечения широкого диапазона регулирования необходимо использовать переменные резисторы с низким значением начального скачка сопротивления.

Широким диапазоном регулирования обладают переменные резисторы СП3-12 (50—60 дБ), СП3-23 (45 дБ), СП3-33 (50 дБ), в то время как у наиболее распространенных переменных резисторов СП он составляет только 36 дБ.

Особенностью человеческого уха является различная чувствительность к разным частотам звуковых колебаний, которая зависит к тому же от уровня громкости. С уменьшением громкости особенно резко снижается восприятие низших и частично высших звуковых частот. Поэтому для равномерного восприятия всех частот при малых общих уровнях громкости низшие и высшие области звукового диапазона должны воспроизводиться с большей громкостью, чем средние частоты. Для этого в высокочастотных усилителях применяют компенсированные регуляторы громкости, которые наряду с изменением общего уровня громкости изменяют частотную характеристику усилителя таким образом, чтобы скомпенсировать неравномерность чувствительности человеческого уха в диапазоне звуковых частот.

В большинстве случаев производится корректировка характеристики только в области низших частот. Для этой цели используют переменные резисторы с дополнительным отводом. В схеме к дополнительному отводу резистора присоединяют цепочку из резистора и конденсатора, шунтирующую сопротивление дополнительного отвода по высокой частоте. При этом в положении малой громкости обеспечивается завал частотной характеристики усилителя по высокой частоте и, таким образом, удается получить относительное усиление низших частот. В случае необходимости более точной корректировки применяют переменные резисторы с двумя или даже тремя отводами.

В качестве регуляторов тембра могут быть использованы переменные резисторы с линейной функциональной характеристикой. Однако более равномерное регулирование тембра получают при использовании резисторов с s-образной функциональной характеристикой.

Для регулирования напряжений и токов питания используют переменные или подстроечные резисторы с функциональной характеристикой типа А. С целью повышения надежности работы резисторов их рекомендуется применять с 2—3-кратным запасом по мощности рассеяния относительно номинальной. Рассеиваемая мощность для резисторов СП-I—СП-V, СП-0,4, СП3 не должна превышать 40—50% мощности, допускаемой для наибольшей ожидаемой в эксплуатации температуры окружающей среды. С той же целью рассеиваемую резисторами СПО мощность рекомендуется снижать на 20—30%. Значительная электрическая недогрузка резисторов (менее $0{,}1—0{,}2P_н$) не всегда является целесообразной, поскольку увеличиваются габариты и масса аппаратуры при несущественном повышении надежности самих резисторов.

Важным параметром являются шумы перемещения переменного резистора, которые проявляются в процессе регулирования сопротивления. Уровень этих шумов зависит как от качества выполнения резистора, так и от схемы его включения: при работе резистора в потенциометрическом режиме уровень шумов регулирования незначителен, в реостатном режиме шумы перемещения резко возрастают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белевцев А. Т.** Потенциометры.—М.: Машиностроение, 1969.— 328 с.

2. **Гальперин Б. С.** Непроволочные резисторы. — М.: Энергия, 1968.—284 с.

3. **Волгов В. А.** Детали и узлы радиоаппаратуры. — М.: Энергия, 1977. — 656 с.

4. **Зайцев Ю. В.** Переменные резисторы. — М.: Энергия, 1974. — 360 с.

5. **Мартюшов К. И., Зайцев Ю. В.** Резисторы. — М.: Энергия, 1966.—216 с.

6. **Мартюшов К. И., Зайцев Ю. В.** Нелинейные полупроводниковые резисторы. — М.: Энергия, 1968. — 190 с.

7. **Проволочные резисторы**/Железнов М. Т., Иванов Д. М., Тамбовцев Н. С. и др. — М.: Энергия, 1970.—240 с.

8. **Свечников С. В.** Элементы оптоэлектроники. — М.: Советское радио, 1971.—272 с.

9. **Стальбовский В. В., Четвертков И. И.** Резисторы. — М.: Советское радио, 1973. — 64 с.

10. **Степаненко И. П.** Основы теории транзисторов и транзисторных схем. — М.: Энергия, 1977. — 672 с.

11. **Шефтель И. Т.** Терморезисторы. — М.: Наука, 1973. — 416 с.